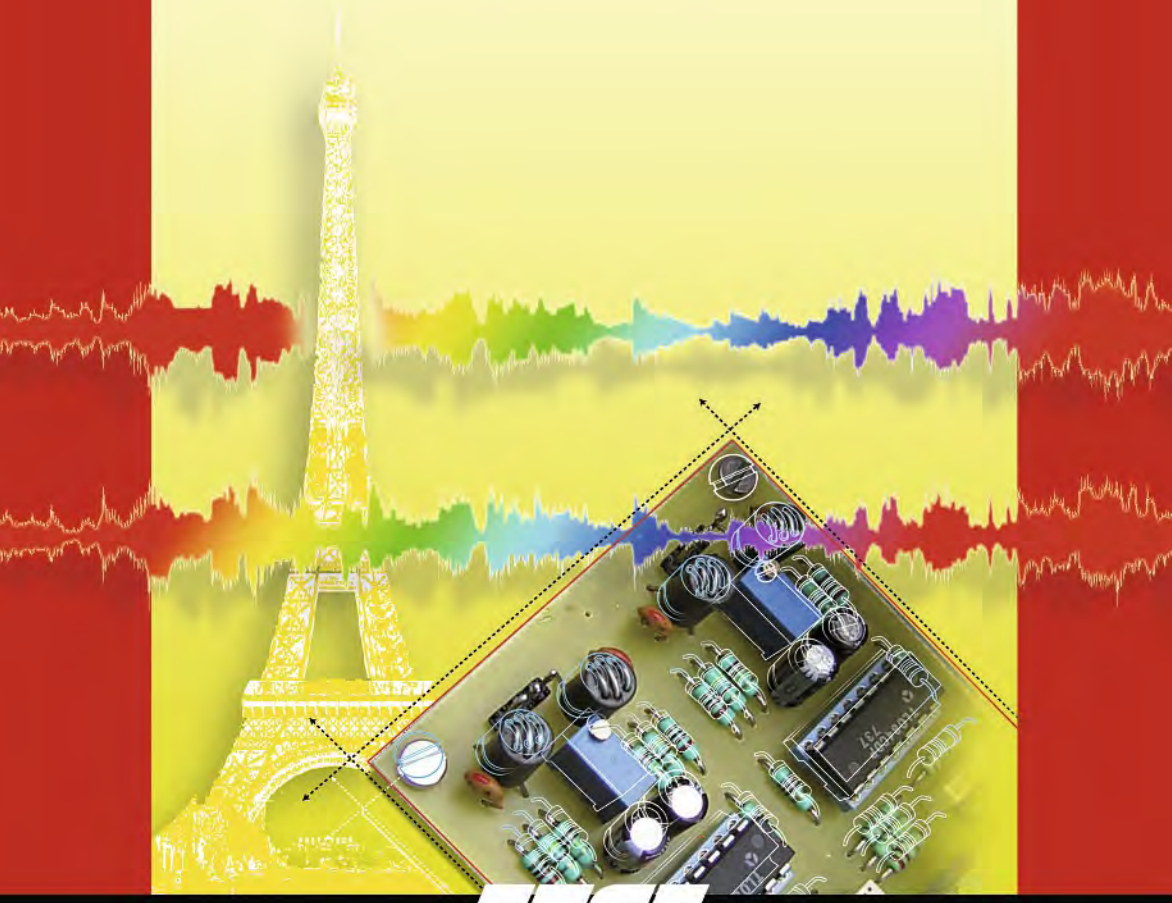
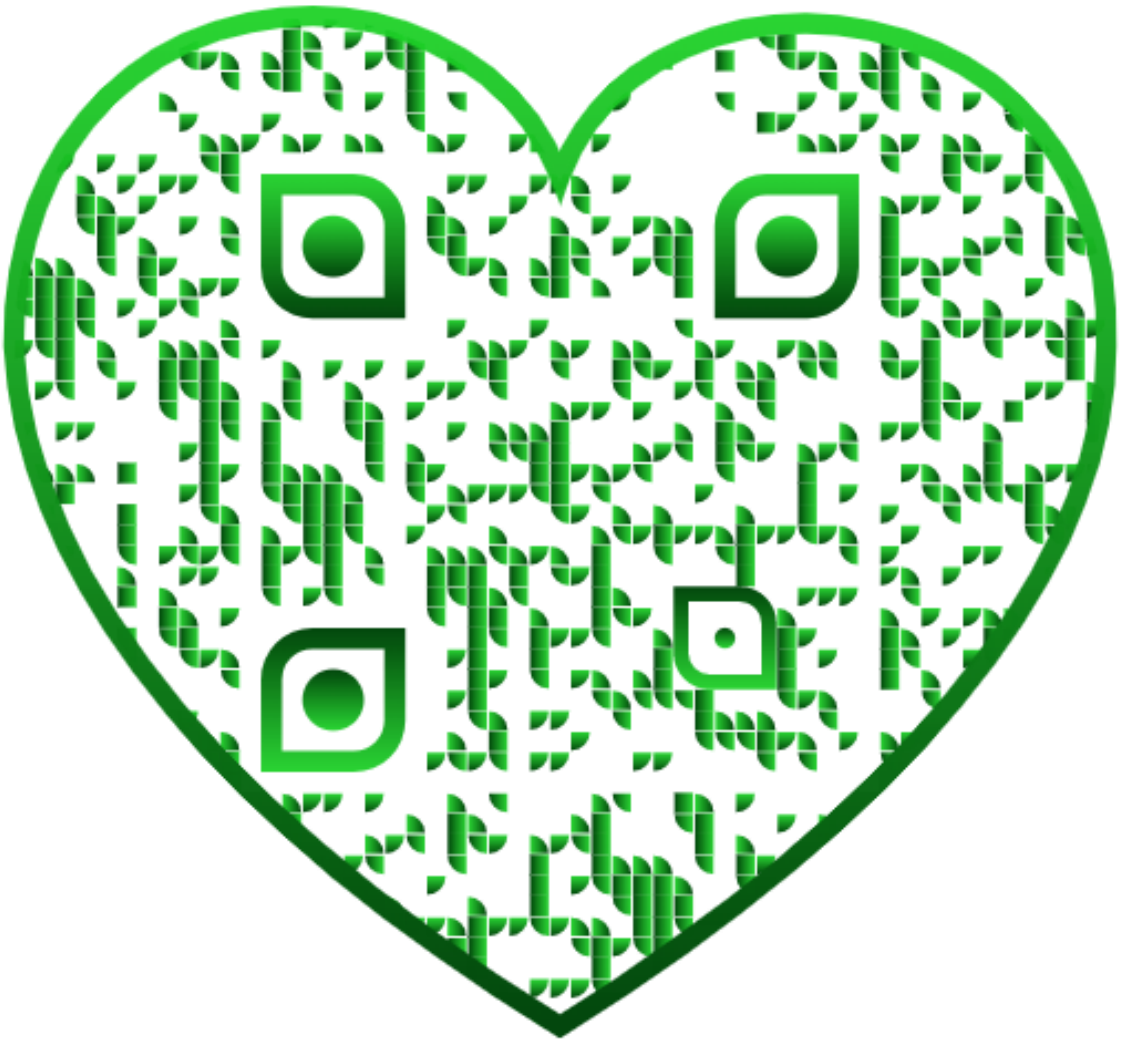
RÉMY MALLARD

Construisez votre émetteur FM

Conception et réalisation



ETSF
EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES



RÉMY MALLARD

Construisez votre émetteur FM

Conception et réalisation

ETSF
EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

http://fribok.blogspot.com/

Illustrations intérieures : Alain et Ursula BOUTEVEILLE
Couverture : Rachid MARAÏ

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, Paris, 2008
ISBN 978-2-10-053560-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

http://fribok.blogspot.com/

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE		PAGE
	Avant-propos	**VII**
	Remerciements	**IX**
1	**Les modulations**	**1**
	1.1 Modulations AM et FM	1
	1.2 Déviation (ou excursion) de fréquence	5
2	**Les traitements appliqués au signal BF**	**9**
	2.1 Désymétrisation du signal audio	9
	2.2 Compression et limitation de la dynamique	11
	2.3 Filtrage passe-bas	20
	2.4 Préaccentuation	27
	2.5 Codage stéréo et compatibilité mono/stéréo	30
3	**Composition du signal multiplex (MPX)**	**43**
	3.1 Signaux M (A+B) et S (A–B)	44
	3.2 Pilote 19 kHz	54
	3.3 RDS et DARC	55
	3.4 Signal multiplex (MPX) complet	57
4	**La stabilité de la fréquence d'émission**	**67**
	4.1 Oscillateur libre	69
	4.2 Oscillateur à quartz	70
	4.3 Oscillateur à synthèse de fréquence	72
	4.4 Modulateur FM	79
5	**L'amplification RF**	**85**
	5.1 Difficultés majeures de l'amplification RF de forte puissance	87
	5.2 Couplages de plusieurs amplificateurs RF	88
	5.3 Filtrage des harmoniques RF	92
	5.4 Mesure de la puissance réfléchie (non rayonnée)	96

http://fribok.blogspot.com/

6 Réalisation et assemblage des modules de l'émetteur 101

6.1 Réalisation de l'alimentation secteur 102
6.2 Réalisation du désymétriseur audio 107
6.3 Réalisation du filtre passe-bas 15 kHz 110
6.4 Réalisation du compresseur de modulation 113
6.5 Réalisation du codeur stéréo 116
6.6 Réalisation du sommateur MPX + RDS 129
6.7 Réalisation du modulateur FM 130
6.8 Réalisation du TOS-mètre 132
6.9 Mise en coffret et interconnexion des modules 133

7 Les réglages de l'émetteur, côté BF 139

7.1 Entrées symétriques et CMRR 139
7.2 Réglage du limiteur de modulation 142
7.3 Réglage des composantes du signal multiplex (MPX) 143
7.4 Réglage du signal multiplex (MPX) complet 155

8 Les réglages de l'émetteur, côté RF 163

8.1 Réglage du modulateur FM 163
8.2 Adaptation de l'antenne d'émission 175

Bibliographie 177
Annexes 179

http://fribok.blogspot.com/

AVANT-PROPOS

Le but de cet ouvrage est de vous montrer comment réaliser soi-même un émetteur FM expérimental permettant la diffusion d'un programme audio stéréophonique. Son contenu est à but uniquement didactique et ne devra être utilisé que pour vous familiariser avec les techniques de conception et de réglage d'un émetteur FM stéréo.

L'utilisation d'un émetteur, quel qu'il soit, est réglementée et doit respecter certaines règles. Une des principales règles concerne la puissance d'émission RF qui ne doit pas dépasser la valeur de 50 nW, valeur applicable à l'instant où ces lignes sont écrites. L'expérimentation sur des périodes limitées est tolérée, mais l'utilisation en continu d'un émetteur radio est formellement interdite sans autorisation. Les réglementations pouvant changer et ne plus correspondre à celles en vigueur au moment de l'écriture de ces lignes, vous devrez vous renseigner auprès des instances compétentes, dont les adresses sont données en annexe de cet ouvrage.

http://fribok.blogspot.com/

REMERCIEMENTS

Merci à mes parents Danièle et Raymond, ainsi qu'à mon parrain Dominique. Mon père m'a fait découvrir l'électronique alors que j'avais dix ans, et a su des années durant, m'assister et m'encourager quand mes montages ne fonctionnaient pas. Mon parrain quant à lui a su m'accueillir des journées entières chez lui, quand j'étais adolescent, pour m'enseigner les bases de l'électronique, complémentaires à celles prodiguées par mon père. C'est lui qui a dépanné et amélioré mon premier émetteur FM. J'avais à cette époque quatorze ans et j'avais encore bien des choses à apprendre. Le domaine de la RF réserve toujours plein de surprises, et sans soutien d'une personne confirmée, on peut avoir envie de tout laisser tomber assez rapidement. Merci donc à eux, du fond du cœur, d'avoir trouvé les mots qu'il fallait pour m'empêcher de chercher d'autres occupations.

Merci à Christian, qui, à chacune de mes interrogations, plongeait aussitôt dans sa bibliothèque technique pour essayer de trouver une réponse, quand il ne l'avait pas déjà en tête.

Merci à Jeremy, Emmanuel et Ludovic (société Imprelec), qui m'ont bien dépanné pour la réalisation de circuits imprimés de dernière minute.

Merci à ma femme Armelle et à mes quatre enfants, qui ont supporté sans broncher les nombreuses heures consacrées à cet ouvrage, heures qui évidement n'ont pu leur être consacrées.

http://fribok.blogspot.com/

1 LES MODULATIONS

Tentatoo – Bonjour Sepatoo. Alors, avez-vous un peu avancé dans la numérisation de vos disques vinyle ?

Sepatoo – Bonjour, Professeur. Oh, j'en ai terminé au moins… trois ! C'est bien plus long que je l'imaginais ! Mais je pense que si vous m'avez demandé de venir si tôt ce matin, ce n'est pas pour parler de mes exploits dans ce domaine.

Tentatoo – Vous avez raison, Sepatoo. Le sujet que nous allons aborder à partir d'aujourd'hui est plus vaste qu'à l'accoutumée, et nous avons du pain sur la planche. Nous allons discuter de la diffusion radio d'un signal audiofréquence stéréophonique. Mais avant cela, je pense qu'il n'est pas inutile de faire un petit rappel sur les modulations.

1.1 Modulations AM et FM

Tentatoo – Le transport d'une information d'un point à un autre peut se faire de différentes façons. Nous pouvons utiliser de la lumière (infrarouge, laser), des ondes haute fréquence ou un simple fil électrique. Dans certains cas, on peut transporter l'information sans avoir à la modifier, comme par exemple pour amener le signal sortant d'une platine CD audio vers l'entrée d'un amplificateur hi-fi. Dans d'autres cas, l'information doit subir un traitement, comme c'est le cas par exemple des programmes radio et télévisés, pour pouvoir être correctement transmis et reçus sur les récepteurs appropriés. Dans ce dernier cas, on utilise une onde porteuse comme support de transmission, pour autoriser une distance de transmission plus importante que celle permise par une simple diffusion sonore par haut-parleur. L'onde porteuse est un signal électrique dont la forme est similaire à celle d'un sifflement audible, mais à une fréquence bien plus élevée, qui la rend inaudible et surtout lui confère des caractéristiques qui facilitent sa propagation. Elle est un moyen de transport (comme un bus ou un avion) et ne doit en temps normal que peu modifier le signal utile à transmettre (comme les voyageurs). Pour que le système fonctionne, l'onde porteuse est modifiée – on dit qu'elle est *modulée* – par le signal à transmettre, que l'on nomme pour l'occasion le signal modulant. Il faut donc dès maintenant savoir faire la distinction entre le signal modulant (le signal utile à transmettre, comme un programme radio), et le signal modulé, qui est l'onde porteuse modifiée par

http://fribok.blogspot.com/

le signal utile. Dans le cas qui nous concerne, l'onde porteuse est un signal radiofréquence, RF en abrégé (on peut aussi dire HF, pour haute fréquence).

Sepatoo – Pour résumer, nous disposons d'un signal modulé dont la fréquence est bien plus élevée que la fréquence du signal à transmettre, et qui sert uniquement de moyen de locomotion.

Tentatoo – C'est exactement ça. L'onde porteuse que constitue le signal RF peut être modifiée selon différentes méthodes. Nous parlerons rapidement des deux méthodes les plus connues, à savoir celle qui consiste à modifier son amplitude, et celle qui consiste à modifier sa fréquence. Dans le premier cas, nous avons affaire à la modulation d'amplitude AM (*Amplitude Modulation*), où l'amplitude du signal modulant BF fait varier l'amplitude de l'onde porteuse RF. Dans le second cas, nous avons affaire à la modulation de fréquence FM (*Frequency Modulation*), où l'amplitude du signal modulant BF fait varier la fréquence de l'onde porteuse RF. Voici en **figure 1.1** une copie d'écran d'un oscilloscope à quatre voies, avec des courbes qui montrent bien le processus de ces modulations : la première courbe (en haut) représente le signal modulant BF, qui est le signal utile que l'on veut transporter. La deuxième courbe représente un signal RF non modulé (onde porteuse) dont la fréquence et l'amplitude restent constantes, c'est le moyen de locomotion. La troisième courbe représente le signal RF modulé en amplitude par le signal BF, et la quatrième courbe (en bas) représente le signal RF modulé en fréquence par le même signal BF.

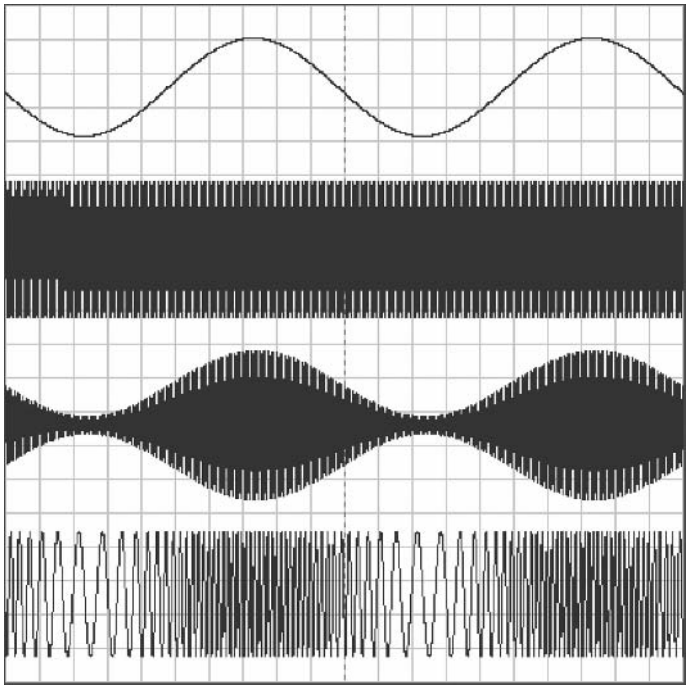


Figure 1.1

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ces formes d'ondes sont bien jolies, mais je ne suis pas certain de bien tout saisir.

Tentatoo – En modulation d'amplitude, la fréquence de l'onde porteuse RF (troisième courbe) ne change pas, mais son amplitude varie en même temps que l'amplitude du signal modulant BF (première courbe). En l'absence de modulation, la porteuse RF possède une amplitude égale à la moitié de sa valeur nominale. En modulation de fréquence, l'amplitude de l'onde porteuse RF (quatrième courbe) ne change pas, mais sa fréquence varie au rythme des variations d'amplitude du signal modulant BF (première courbe). Plus l'amplitude du signal modulant est élevée, et plus la fréquence instantanée de l'onde porteuse s'éloigne de sa valeur d'origine.

Sepatoo – Non, ça, je l'ai bien compris. Ce que je voulais dire, c'est que je ne comprenais pas pourquoi notre signal utile, qui est censé être de la musique ou de la parole, à cette allure sur la première courbe.

Tentatoo – Mais Sepatoo, tout simplement parce que ces courbes sont obtenues en utilisant un signal de test dont la fréquence et l'amplitude ne varient pas !

Sepatoo – Je ne vois pas trop l'intérêt de transporter un tel signal, qui doit au demeurant être fort désagréable à entendre.

Tentatoo – Je suis désolé de vous décevoir, mais ce genre de signal est régulièrement utilisé pour régler des équipements audio qui interviennent dans la diffusion. Je l'ai utilisé ici pour mettre en évidence de façon théorique la modification apportée à la porteuse RF. Mais il va de soi qu'en temps normal, c'est de la musique ou de la parole qui est transmise. Pour vous être agréable, je vous ai fait une seconde copie d'écran de notre oscilloscope, visible en **figure 1.2**, où le signal utile BF qui module nos porteuses RF, est cette fois une vraie musique. La première courbe (en haut) représente le signal modulant BF (la vraie musique) que l'on veut transporter. La deuxième courbe représente le signal RF non modulé (onde porteuse). La troisième courbe représente le signal RF modulé en amplitude par la musique, et la quatrième courbe (en bas) représente le signal RF modulé en fréquence par la même musique.

Sepatoo – Voilà qui me rassure ! Si je puis me permettre, je préfère nettement la modulation d'amplitude. On « voit » en effet le signal BF modulant sur l'onde porteuse RF, ce qui me laisse présager qu'il sera plus simple de le récupérer par la suite.

Tentatoo – Vous n'avez pas tort. La récupération du signal BF à la réception, est en effet plus simple en modulation d'amplitude qu'en modulation de fréquence. Je veux bien croire que vous la préférez visuellement, mais au niveau auditif, je ne m'avancerais pas. Vous devez vous douter un peu que la modulation d'amplitude présente des limites, sinon nous n'utiliserions que ce type de modulation.

Sepatoo – J'ai entendu dire que la modulation d'amplitude était plus sensible aux parasites que la modulation de fréquence, mais je n'ai pas encore très bien compris pourquoi. La sensibilité aux parasites est-il le seul critère qui fait que l'on puisse préférer la modulation de fréquence ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

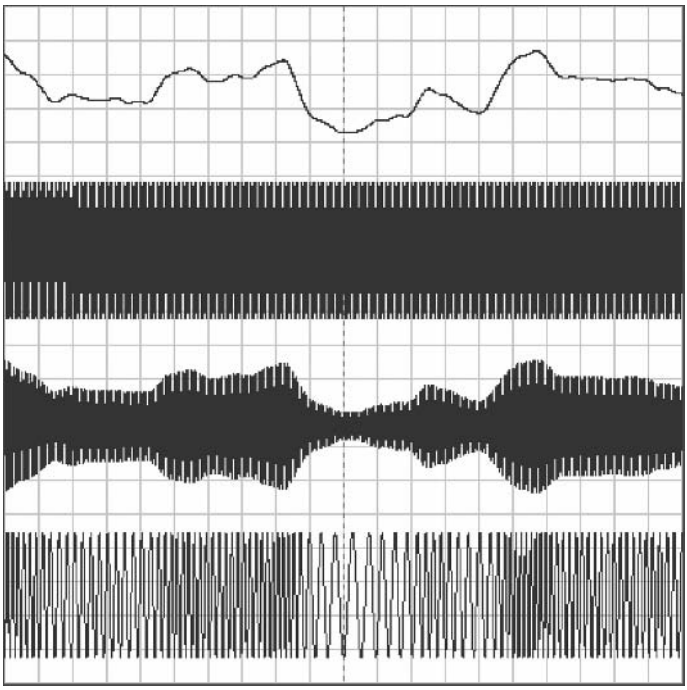


Figure 1.2

Tentatoo – Le choix de la modulation ne dépend pas que de la sensibilité aux parasites. Il est un autre critère, qui est celui de l'indice de modulation, qui rend impossible l'utilisation de la modulation d'amplitude dans certains contextes d'utilisation, comme par exemple dans le domaine des transmissions par satellite. Pour ce qui est des parasites, et sans trop entrer dans les détails, je peux vous donner une explication rapide. Quel que soit le type de modulation employé, l'onde porteuse est affectée par divers parasites lors de son parcours. Pour la modulation AM, ce parasite sera considéré comme étant une information « normale », contenue dans le signal modulant, alors qu'il n'y était pas à l'origine. Il sera donc « décodé » et entendu car le récepteur n'a aucun moyen de savoir s'il s'agit oui ou non d'un élément faisant partie du signal utile. Dans le cas de la modulation FM, le parasite sera considéré comme une modulation AM, et pourra être ignoré du récepteur, qui ne s'intéresse qu'aux variations de fréquence.

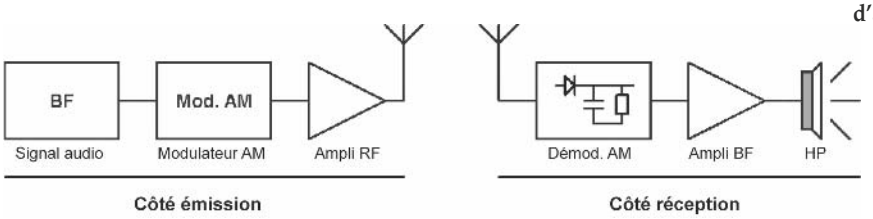
Sepatoo – C'est donc cela ! Je me demandais depuis longtemps pourquoi ma perceuse provoquait autant de perturbations dans mon poste de radio quand j'écoutais une émission en Grandes Ondes (diffusion en modulation d'amplitude), alors qu'aucun parasitage ne venait perturber la réception d'un programme radio reçu en modulation de fréquence.

Tentatoo – Vous avez compris ! Vous pouvez voir maintenant les synoptiques généraux d'une transmission en AM et en FM, du signal audio modulant (point de départ) jusqu'au haut-parleur (point d'arrivée), en **figure 1.3** pour une transmission en AM, et en **figure 1.4** pour une transmission en FM. Comme vous pouvez le constater, on retrouve des sections similaires

http://fribok.blogspot.com/

pour les deux modes de transports. Du côté de l'émission, la circuiterie qui effectue la modulation d'amplitude est bien entendu différente de celle qui effectue la modulation de fréquence, et du côté du récepteur, il en va de même pour la partie Démodulation, qui ne s'appuie pas sur les mêmes principes.

Figure 1.3. **Synoptique transmission AM (modulation d'amplitude).**



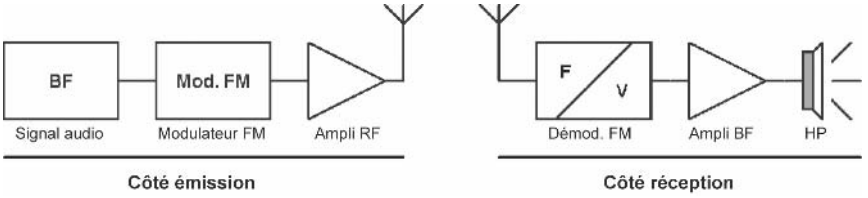


Figure 1.4. **Synoptique transmission FM (modulation de fréquence).**

Sepatoo – En voyant ces synoptiques, je me dis qu'il doit être facile de remplacer la partie démodulation d'un récepteur AM par un circuit de démodulation FM.

Tentatoo – La simplicité de représentation d'une fonction dans un synoptique ne doit pas vous faire oublier que parfois, à une case du synoptique peut correspondre un circuit complexe. La modification à laquelle vous pensez ne peut être réalisée, que le récepteur soit bâti autour de composants discrets (tous transistors) ou autour de circuits intégrés spécifiques. Il faudrait entièrement refaire le circuit imprimé, ce qui, vous en conviendrez, revient presque au même que de partir de zéro.

Sepatoo – Mais il est bien possible de récupérer la partie amplification BF, non ?

Tentatoo – Oui, c'est exact. Vous pourriez vous faire un petit amplificateur BF d'appoint en n'utilisant que la partie BF d'un récepteur AM ou FM. D'ailleurs, un récepteur qui prend en charge (qui peut démoduler) les deux types de modulation AM et FM ne possède qu'un seul étage d'amplification BF, ce qui est heureux. Mais cela est un autre sujet, et nous nous égarons. Avez-vous déjà entendu parler de la déviation de fréquence, appelée aussi excursion de fréquence, et si oui, pouvez-vous m'en parler un peu ?

1.2 Déviation (ou excursion) de fréquence

Sepatoo – La déviation (ou excursion) de fréquence correspond à la zone couverte autour de la fréquence de l'onde porteuse, quand un signal BF est appliqué à l'émetteur.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Cela est juste. Et qu'en est-il précisément de la valeur de la déviation ?

Sepatoo – Elle dépend de l'amplitude du signal BF modulant, et de la pente du modulateur.

Tentatoo – Il me semblait ne pas encore vous avoir parlé de pente d'un modulateur dans mes précédents cours.

Sepatoo – J'ai été un peu renseigné par mon ami musicien, celui qui a plein de synthétiseurs de musique dans sa chambre. Un jour, il m'a parlé d'un oscillateur FM intégré à l'un de ses synthétiseurs de musique, dont il pouvait faire varier la fréquence grâce à une tension continue qu'il ramenait de l'extérieur. En l'occurrence, il utilisait une onde sinusoïdale issue d'un générateur basse fréquence intégré à un autre de ses synthétiseurs de musique. Cet ami m'avait dit que l'oscillateur FM de son synthétiseur de musique travaillait comme celui d'un émetteur radio FM, et que seule les fréquences de fonctionnement différaient.

Tentatoo – Son oscillateur devait sans doute travailler dans la bande des fréquences audibles, c'est-à-dire entre 20 Hz et 20 kHz, alors que pour l'émetteur radio FM on travaille sur des fréquences bien plus hautes puisque comprises entre 88 MHz et 108 MHz. Votre ami avait tout à fait raison, on peut dire que dans les deux cas le fonctionnement est similaire. Puisque vous savez déjà tout de la pente de modulation, pouvez-vous nous en dire plus ?

Sepatoo – Je ne me rappelle plus très bien des détails, mais il me semble que si l'on a un signal BF modulant d'amplitude fixe, et que l'on fait varier la pente de modulation, la valeur de la déviation de fréquence change. Et qu'il se passe la même chose si la pente du modulateur est fixe mais que l'amplitude du signal BF modulant change.

Tentatoo – Parfaitement juste. Voyez les deux pentes de la **figure 1.5** Avec la pente de gauche, il suffit d'une faible variation d'amplitude du signal BF pour atteindre une grande variation de fréquence : ± 0,4 V suffisent pour obtenir une variation de ± 100 kHz. Avec la pente de droite, il faut une plus grande variation d'amplitude du signal BF modulant pour obtenir une variation de fréquence similaire : une variation d'amplitude du signal BF de ± 0,4 V ne provoque qu'une variation de fréquence de ± 16 kHz, soit six fois moins. Comme bien souvent, il faut trouver un compromis entre les deux extrêmes.

Sepatoo – Une pente à 45 degrés ne serait-elle pas idéale ?

Tentatoo – Je peux vous dessiner autant de courbes à 45° que vous le souhaitez, chacune avec une pente de modulation différente, puisqu'il suffit de modifier l'échelle d'un des deux axes. Mais cela ne signifierait rien. Pour spécifier une pente, nous utilisons le rapport Hz/V, qui indique de combien de hertz vaut la variation de fréquence pour une amplitude donnée. Pour nos deux courbes, nous pouvons dire que la première présente une pente de 250 kHz/V, et que la seconde présente une pente de 40 kHz/V.

Sepatoo – Je ne comprends pas très bien d'où viennent ces valeurs de rapport.

http://fribok.blogspot.com/

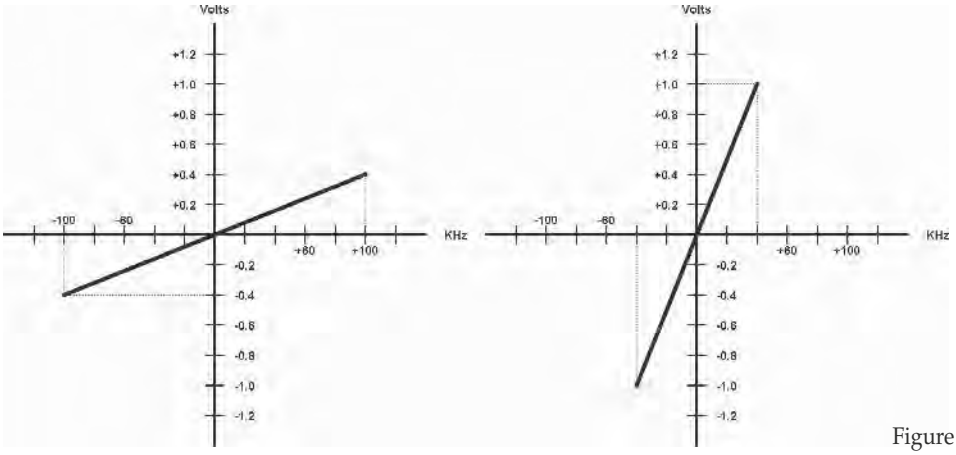


Figure 1.5

Tentatoo – Mais c'est très simple ! Soit vous prolongez la droite jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur de 1 V et vous regardez à quelle variation de fréquence cette valeur de 1 V correspond, soit vous divisez une valeur quelconque de la variation de fréquence par la tension qui lui correspond. La deuxième méthode est la plus simple finalement : pour la première pente nous divisons 100 (kHz) par 0,4 (V), ce qui nous donne la valeur de 250 kHz/V. Pour la seconde pente, nous divisons 40 (kHz) par 1 (V), ce qui nous donne la valeur de 40 kHz/V.

Sepatoo – En effet, c'est très simple, je ne l'avais pas vu sous cet angle. Et quelle valeur de pente allons-nous retenir pour notre projet ?

Tentatoo – Nous verrons cela plus en détail quand nous aborderons la section modulateur FM, mais je peux déjà vous dire que notre modulateur FM devra être en mesure de produire une déviation de fréquence de ± 75 kHz. Bien, la modulation d'un signal haute fréquence est un sujet fort intéressant, et nous en reparlerons très prochainement. Et si nous parlions maintenant des traitements appliqués au signal utile ?

http://fribok.blogspot.com/

2 LES TRAITEMENTS APPLIQUÉS AU SIGNAL BF

Sepatoo – Des traitements appliqués au signal utile ? Mais je croyais qu'il suffisait d'utiliser notre signal audio tel quel pour moduler notre onde porteuse, et que cela suffisait.

Tentatoo – Cela aurait certes simplifié bien des aspects de notre affaire, mais il est des traitements qui ne peuvent être ignorés si nous voulons quelque chose de parfaitement exploitable avec notre récepteur. Il est vrai que certains traitements peuvent être considérés comme du luxe, mais d'autres sont bel et bien indispensables. Nous allons ainsi parler de la désymétrisation d'un signal audio, de la compression de dynamique, du filtrage passe-bas, de la préaccentuation et du codage stéréophonique. Après avoir abordé ces points qui se placent dans la section purement BF, nous aborderons les points de la section RF, tels que modulateur FM, circuit d'asservissement (PLL) et amplificateur RF.

Sepatoo – Voilà finalement un programme qui me semble bien chargé et qui me ferait presque un peu peur. Êtes-vous sûr que parler de tout ceci est vraiment indispensable ?

Tentatoo – Mon cher Sepatoo, comme bien souvent, les choses paraissent complexes quand on les aborde en toute ignorance, puis deviennent limpides quand on prend le temps de les comprendre. Vous verrez que tout ce dont nous parlerons n'est en réalité que fort peu compliqué !

Sepatoo – Eh bien si nous commencions, alors !

2.1 Désymétrisation du signal audio

Tentatoo – Le premier étage de notre émetteur FM est un circuit permettant la désymétrisation du signal audio. Rappelons brièvement que la désymétrisation consiste à convertir une liaison à trois fils (symétrique, deux câbles utilisés pour le transport du signal utile, en plus du conducteur de masse) en une liaison à deux fils (asymétrique, un seul conducteur pour transporter le signal utile, en plus du conducteur de masse). Le mode de liaison symétrique est plutôt utilisé dans le monde professionnel et le mode de liaison asymétrique est plutôt utilisé dans le monde du grand public. Nous pourrions nous passer de ce circuit, mais je pense que cela serait fort dommage.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Si nous pouvons nous en passer, c'est que ce n'est pas forcément utile.

Tentatoo – Je reconnais qu'il s'agit là d'un circuit qu'on ne trouve guère dans les réalisations d'amateur, car les signaux audio sont le plus souvent transportés en mode asymétrique. Mais comme il peut servir ailleurs – je veux dire pas seulement dans un émetteur FM, je tiens à ce que nous le passions en revue. Ce montage est donc optionnel et n'est recommandé que si votre source audio fournit un signal de type symétrique (sortie audio XLR d'une console professionnelle, par exemple). Voyez donc son schéma, présenté en **figure 2.1**.

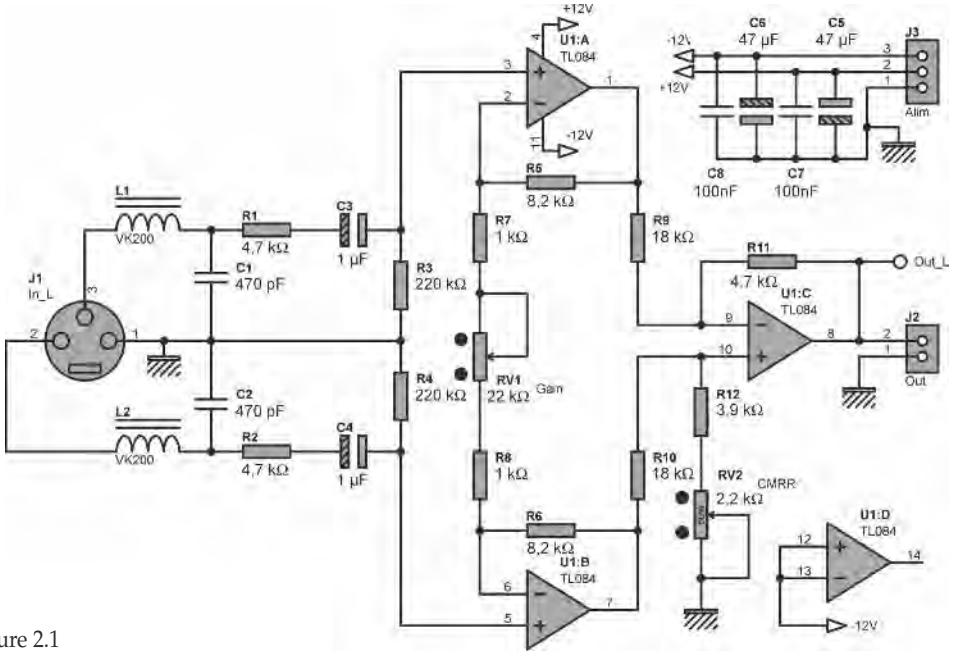


Figure 2.1

Sepatoo – Que de composants !

Tentatoo – Il n'y en a en fait pas tant que ça, surtout si vous considérez que les quatre amplificateurs opérationnels U1:A à U1:D sont contenus dans un seul et unique boîtier à quatorze pattes. Mais il est vrai qu'il y a moyen de faire plus simple, comme le montre le circuit de la **figure 2.2**, à la condition d'accepter des performances moindres.

Sepatoo – J'essayerai d'abord le second schéma, si vous n'y voyez pas d'inconvénient.

Tentatoo – Le « d'abord » me plaît bien. Parlons maintenant du « vrai » traitement du son. Car pour le moment, nous avons vu comment convertir une liaison à trois fils (symétrique) en une liaison à deux fils (asymétrique), mais nous n'avons pas touché à la nature du son en lui-même.

Sepatoo – Le « vrai » traitement du son ? Le son doit-il donc être nettoyé ou lavé avant d'être envoyé sur les ondes ?

http://fribok.blogspot.com/

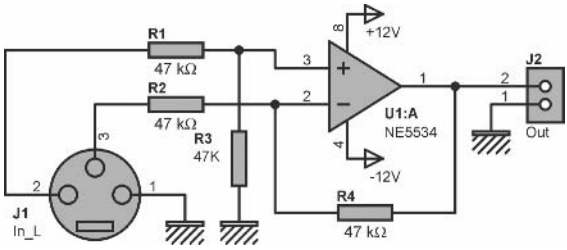


Figure 2.2

Tentatoo – Je suis toujours étonné par certaines de vos questions, mon cher ami, et n'arrive pas toujours très bien à deviner s'il s'agit d'une question innocente ou d'une blague.

Sepatoo – Mais je suis très sérieux ! Le son peut bien être taché de bruit, non ? J'ai une fois entendu un ingénieur du son parler en ces termes.

Tentatoo – *Entaché* de bruit, oui. J'admets que je n'avais pas bien compris le sens de votre question, et je vous prie de m'en excuser. Pourquoi traiter le son ? Pas vraiment pour enlever le bruit qu'il pourrait contenir, car cela est relativement difficile et les résultats obtenus sont parfois douteux. Qui plus est, le son disponible en sortie d'un studio est généralement assez propre, et si cela n'est pas le cas, c'est qu'il y a un problème. En fait, le traitement n'est pas absolument obligatoire mais il est très vivement conseillé, pour « adapter » le son afin qu'il parvienne dans les meilleures conditions possibles au récepteur radio. Le chemin que le signal audio doit parcourir peut en effet être long, et toutes sortes de paramètres divers peuvent affecter sérieusement la qualité de ce dernier tout au long de son transport.

Sepatoo – J'espère que vous parlerez plus longuement de ces paramètres divers qui m'intéressent au plus haut degré !

Tentatoo – Oui, Sepatoo, j'en parlerai un peu. Mais pour l'instant, revenons à notre traitement du son lui-même. Le paramètre sonore le plus important dans le domaine qui nous concerne maintenant, est la dynamique de la modulation.

2.2 Compression et limitation de la dynamique

Sepatoo – Vous voulez parler de la différence qui existe entre les niveaux les plus faibles et les niveaux les plus fort d'un passage musical ou parlé ?

Tentatoo – Exactement ! Pourriez-vous me citer un exemple de signal audio peu dynamique et un exemple de signal audio très dynamique ?

Sepatoo – Eh bien, je crois savoir qu'un orchestre symphonique peut fournir un signal ayant une très grande dynamique, car les différences de niveaux sonores entre *pianissimo* et *fortissimo* peuvent être énormes. Alors qu'en revanche dans un concert hard-rock ou pop, on a affaire à une dynamique plus faible, car les passages faibles ne sont pas… aussi faibles que ça.

Tentatoo – Épatant, car voilà deux exemples parlants ! Vous n'avez pas commis l'erreur de confondre la dynamique et le volume sonore, ce qui je le conçois bien, n'est pas forcément si évident à assimiler. Eh bien Sepatoo, vous devez savoir que de par la nature même des équipements qui sont

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

utilisés pour la diffusion FM, un signal de grande dynamique n'est pas très bien adapté. Il faut en effet « faire tenir » les signaux faibles et les signaux forts dans un tuyau qui n'est finalement pas si large que ça.

Sepatoo – Quand vous parlez du tuyau, vous faites sans doute allusion à l'émetteur FM ?

Tentatoo – L'émetteur FM n'est qu'un tronçon du tuyau. Toute la chaîne de transport est concernée, même si cette chaîne se résume à des choses modestes comme la diffusion d'une émission dans votre chambre à coucher. Essayez de voir plus large et d'imaginer une situation plus complexe, où l'émetteur FM est situé à 100 km du studio de la radio, par exemple.

Sepatoo – 100 km ! Vous plaisantez j'espère, cela me semble être un bel exercice de science-fiction ! Le studio est normalement proche de l'antenne d'émission, non ? Dites-moi que vous exagérez un peu.

Tentatoo – Et si je vous disais que le transport peut même couvrir une distance de 72 000 km, qui correspond à un aller-retour vers un satellite de communication, penseriez-vous toujours à de la science-fiction ?

Sepatoo – J'aurais dû me douter que vous me joueriez un mauvais tour aujourd'hui. Je vous connais pourtant suffisamment bien pour savoir que vos paroles ont parfois un fond de vérité.

Tentatoo – Parfois ?

Sepatoo – Heu… je voulais dire…

Tentatoo – Ce n'est pas grave. Mais continuons donc, car nous n'en sommes qu'au début, et j'ai le sentiment que je vais devoir répondre encore à un certain nombre de questions de votre part.

Sepatoo – Vous n'aimez pas mes questions ?

Tentatoo – Oh mais si, rassurez-vous ! Ma plus grande inquiétude serait même que vous n'en posiez aucune. La dynamique, nous disions… Si on règle les équipements assez « fort » pour que les signaux faibles ne soient pas noyés dans le bruit (souffle) au moment de la réception, les signaux forts vont être trop forts et vont occasionner un dépassement inacceptable de la déviation (ou excursion) de fréquence.

Sepatoo – Excursion de fréquence… J'ai un vague souvenir de ce terme…

Tentatoo – J'espère bien que vous avez un vague souvenir de ce terme, car nous en avons parlé il y a très peu de temps de cela.

Sepatoo – Ah oui, très juste. Ne s'agit-il pas de la variation de fréquence d'un oscillateur, au gré de la modulation audio ? La fréquence d'émission est fixe quand il n'y a aucun son, et elle s'éloigne d'autant plus de sa valeur de repos que le son est fort. Est-ce bien cela ?

Tentatoo – Pour un vague souvenir, c'est bien résumé. Et quand l'excursion est trop forte et dépasse la limite fixée, on parle de *surexcursion*. Il faut en effet savoir que l'excursion en fréquence est réglementée : en France, elle ne doit pas dépasser ± 75 kHz, soit une plage totale de 150 kHz autour de la fréquence « centrale ».

Sepatoo – Eh bien, pas de problème, il suffit de baisser le niveau du signal audio pour ne pas créer de surexcursion. Je ne vois pas bien où est le problème…

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Oh, il est simple à comprendre. Si on règle les équipements de façon assez « faible » pour que les signaux les plus forts n'occasionnent pas de surexcursion, on risque alors de ne plus entendre suffisamment les signaux les plus faibles, qui vont du coup se retrouver à une amplitude voisine de celle du bruit de fond. Imaginez une radio généraliste qui désire passer des chansons douces en journée et retransmettre un concert de rock le soir.

Sepatoo – Ouh la la, mais ce problème est insoluble ! À part renoncer à diffuser de la musique classique, je ne vois vraiment pas ce qu'on peut faire !

Tentatoo – Écoutez-vous souvent la radio, Sepatoo ? À vous entendre, je commence à en douter. Pensez-vous donc qu'aucune radio à l'heure actuelle ne diffuse de la musique classique ?

Sepatoo – Vous avez toujours le bon mot pour me rassurer, et c'est bien heureux ainsi. Durant un bref instant, j'ai bien cru que tout était perdu. Il existe donc des animateurs radio tellement rapides, qu'ils arrivent à bouger les boutons de volume en temps réel pour baisser le son quand il est trop fort, ou le monter quand il est trop faible ?

Tentatoo – ...

Sepatoo – Votre silence m'inquiète un peu. Aurais-je dit une bêtise ?

Tentatoo – C'est une bêtise qui n'en est pas vraiment une. Un bon animateur radio doit en effet savoir anticiper ou réagir rapidement à un niveau de signal « hors fourchettes », en se fiant continuellement aux vumètres et à ses oreilles. Ceci dit, il est hors de question qu'il manie le curseur de la console de mélange au rythme de la musique. Outre le fait que les potentiomètres de la console ne dureraient pas bien longtemps, pouvez-vous me dire quand il aurait le temps de changer les disques ?

Sepatoo – Les disques ? Mais vous m'avez dit un jour que les disques étaient remplacés par des fichiers audio sur ordinateur…

Tentatoo – C'est une réalité, mais qui ne s'est pas encore étendue sur la totalité des stations radio. Beaucoup de petites radios font encore usage de leur platine disque vinyle, et je trouve cela bien heureux. Au moins ceux-là n'ont-ils pas à gérer des pannes informatiques régulières qui affectent des ordinateurs fonctionnant 24 heures sur 24.

Sepatoo – Mais j'y songe… Ne pourrions-nous pas utiliser un appareil permettant de régler le niveau sonore de façon automatique ? Mon premier magnétophone de poche était pourvu d'un tel système pour éviter la saturation de la bande magnétique lors d'un enregistrement. Je m'en souviens bien maintenant, le son baissait fortement à chaque coup sonore fort. Ce qui était parfois assez déplaisant à l'écoute, mais moins tout de même qu'une grosse saturation. Et cela me fait aussi penser à cet étrange appareil que mon père avait intercalé entre la CB et son microphone, et qui devait permettre une meilleure portée.

Tentatoo – Vous avez cité là deux types d'équipements où s'effectuait une régulation du niveau sonore : votre magnétophone, avec son CAG (contrôle automatique de gain), et un compresseur de modulation (ou limiteur de modulation peut-être) pour le poste CB de votre père. Dans les deux cas, le but était d'obtenir une amplitude de signal qui ne se sauve pas dans tous les sens, et qui reste cantonné à une plage de variation plus étroite et plus

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

prévisible. On parle dans ce cas de *réduction de dynamique*. Les différences importantes entre les niveaux forts et les niveaux faibles sont réduites et surprennent moins. Et cela est effectué de façon fort simple : un détecteur de signal analyse en continu le niveau moyen du signal. S'il le trouve trop faible, il l'amplifie. Et s'il le trouve trop fort, il l'atténue. Sur certains appareils, seule la fonction d'atténuation – en cas de signal trop fort – est assurée. Regardez les courbes de la **figure 2.3**, qui font la correspondance entre niveau de sortie et niveau d'entrée d'un compresseur de modulation.

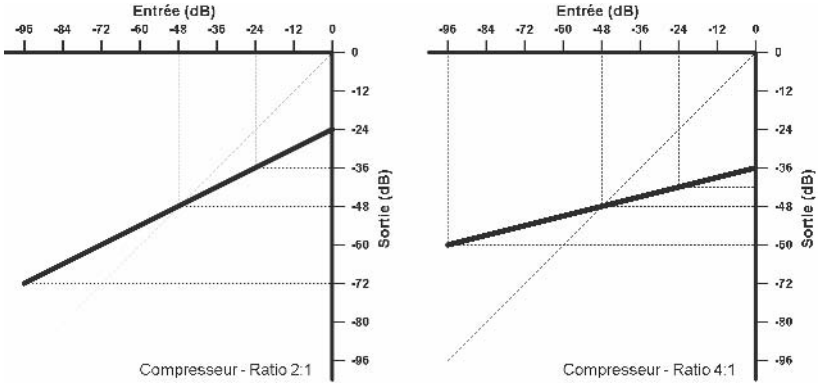


Figure 2.3

Sepatoo – Je dois vous avouer que ces courbes ne me parlent pas beaucoup.

Tentatoo – Ce n'est pas compliqué du tout. L'échelle horizontale représente le niveau électrique du signal audio qui entre dans le compresseur de modulation, et l'échelle verticale représente le niveau électrique du signal audio qui en ressort une fois traité. Sur la courbe de gauche, nous avons un compresseur dont le *taux de compression*, appelé aussi *ratio*, est de 2:1, ce qui signifie que la dynamique du signal de sortie est deux fois moindre que la dynamique du signal d'entrée. À 50 dB de dynamique d'entrée correspondent 25 dB de dynamique de sortie. Sur la courbe de droite, il s'agit du même compresseur, mais dont le taux de compression a été cette fois fixé à 4:1, et dont la dynamique de sortie est quatre fois moindre que celle d'entrée. Le trait en pointillé incliné à 45 degrés et visible sur les deux dessins représente la correspondance entre entrée et sortie quand le signal audio n'est pas traité : le signal sortant possède la même amplitude que le signal entrant.

Sepatoo – Je comprends. Mais le signal de sortie est considérablement atténué, cela ne pose-t-il pas de problème pour la suite des événements ?

Tentatoo – Aucun problème de ce côté, il suffit de réamplifier un peu le signal compressé pour rattraper la perte de gain occasionnée par la compression.

Sepatoo – Et tous les compresseurs de modulation fonctionnent donc ainsi, avec un taux de compression que l'on peut fixer comme on veut ?

Tentatoo – Le principe de base est vrai pour tous les compresseurs, oui. Mais certains compresseurs sont dotés de raffinements qui permettent un rendu sonore plus agréable. Par exemple, il est possible de leur demander

http://fribok.blogspot.com/

d'agir seulement à partir d'un certain niveau, et de ne pas toucher à la dynamique du signal en dessous de ce seuil. Les courbes de la **figure 2.4** en donnent un exemple.

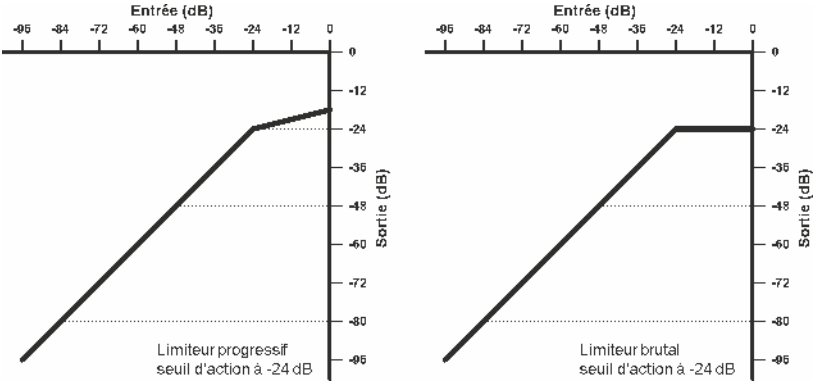

Entrée (dB)
-96 -84 -72 -60 -48 -36 -24 -12 0
0 -12 -24 -36 -48 -60 -72 -80 -96
Sortie (dB)
Limiteur progressif
seuil d'action à -24 dB
Entrée (dB)
-96 -84 -72 -60 -48 -36 -24 -12 0
0 -12 -24 -36 -48 -60 -72 -80 -96
Sortie (dB)
Limiteur brutal
seuil d'action à -24 dB

Figure 2.4

Sepatoo – Mais la dynamique du signal sortant est la même que celle du signal entrant ! Si je rentre un signal d'amplitude – 48 dB, il sort à – 48 dB. Et si je rentre à – 24 dB, il sort à – 24 dB. Bon j'admets qu'au-delà de – 24 dB, les choses se passent différemment.

Tentatoo – Vous voyez juste. Je vous disais qu'il était parfois possible de régler le compresseur de telle sorte qu'il ne commence à agir qu'à partir d'un certain seuil. C'est justement le cas ici : le seuil d'action est placé à la valeur de – 24 dB, et le signal n'est atténué en sortie que s'il dépasse ce seuil.

Sepatoo – La courbe est drôlement penchée à partir de – 24 dB. Je suppose que le taux de compression est très élevé.

Tentatoo – Exactement ! Le but étant de ne pas dépasser une certaine valeur en sortie du compresseur, nous atténuons très fortement le signal à partir du seuil d'action. Le compresseur est devenu un limiteur.

Sepatoo – Et sur la courbe de droite de la **figure 2.4**, le taux de compression est encore plus élevé que pour la courbe de gauche.

Tentatoo – Non seulement le taux de compression est très élevé, mais il est infini. Le signal d'entrée peut augmenter autant qu'il veut, le niveau de sortie ne dépassera jamais la valeur fixée, ici à – 24 dB. Nous ne parlons alors plus du tout de compression ou de limitation légère, mais de limitation franche. Notez qu'avec cette dernière courbe, l'effet sonore est un peu plus désagréable qu'avec la courbe de gauche, car l'effet est brutal et absolument pas progressif. Si le signal d'entrée présente à un instant donné un pic d'amplitude très élevé, par exemple de – 3 dB alors qu'il était de – 36 dB juste avant, une distorsion audible peut être entendue.

Sepatoo – Et pour limiter les dégâts, ne pourrait-on pas combiner un compresseur et un limiteur brutal ? Cela permettrait de limiter les dépassements d'une manière générale, et de bloquer sans pitié tout signal qui voudrait encore passer la barrière.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Mais tout à fait, et cela se pratique d'ailleurs beaucoup. Le compresseur et le limiteur, utilisés seuls ou combinés, sont des appareils indispensables dans un studio radio, autant que le sont un multimètre et un oscilloscope pour l'électronicien.

Sepatoo – Mais j'y pense, nous avons notre solution, car vous me donnez là une sacrée idée… Je vais demander à mon père s'il peut me prêter son compresseur de microphone CB, pour me permettre de commencer rapidement la construction de ma radio. Je pourrai ainsi économiser un équipement !

Tentatoo – Le compresseur qu'utilisait votre père ne conviendra sans doute pas, car il est conçu pour travailler avec le niveau faible fourni par un microphone, doit sûrement être affublé d'une bande passante assez réduite, et doit être de plus monophonique.

Sepatoo – Voilà trois arguments bigrement convaincants ! Je chercherai donc une autre solution. Vous dites donc qu'il me faudrait un compresseur de modulation stéréo hi-fi. Où pourrais-je trouver ce type d'équipement, selon vous ?

Tentatoo – Chez un spécialiste des équipements audio, domaine radio ou home-studio. Si vous choisissez de l'acheter tout fait, n'hésitez pas à questionner le vendeur, qui devrait normalement connaître plusieurs produits adaptés à ce genre de besoin.

Sepatoo – Vous voulez dire que le compresseur de modulation n'est pas le seul équipement qui pourrait nous rendre service pour ce type de travail ?

Tentatoo – C'est exactement ce que je veux dire. Il existe d'autres types de traitements de son bien plus élaborés que le simple compresseur, et qui permettent de traiter le son de façon très subtile. Je ne vous recommanderai cependant pas ce genre d'appareil pour ce que vous envisagez de monter, car il nécessite une très bonne connaissance du domaine audio, beaucoup de temps pour trouver des réglages qui « sonnent » bien et qui ne transforment pas le signal audio en une bouillie sonore immonde. Et surtout, j'ai bien peur que le tarif de tels appareils soit légèrement au-delà de vos capacités de financement.

Sepatoo – Comme vous connaissez bien mes préoccupations premières, c'est une chose qui me plaît beaucoup chez vous ! Mais même si je ne peux m'offrir le luxe de ces appareils hautement performants, auriez-vous tout de même la délicatesse de m'en toucher deux ou trois mots ?

Tentatoo – Bien sûr Sepatoo, mais de façon succincte. Le compresseur de modulation « simple » travaille sur l'ensemble de la bande passante, sans faire de réelle distinction entre les fréquences basses et les fréquences aiguës. Et comme vous le savez sans doute, il y a dans la musique beaucoup plus d'énergie dans les fréquences basses que dans les fréquences aiguës, et il n'est pas rare d'y trouver des pointes de modulation très élevées. Le détecteur de niveau du compresseur simple, quand il voit un signal de forte amplitude, ne tient pas compte de sa fréquence. Il se dit de façon très mécanique « C'est trop fort, je baisse ! ». Et bien sûr, tous les autres signaux situés ailleurs dans le spectre sont diminués d'autant. Nous retrouvons ainsi en sortie du compresseur, un signal dont la bande passante n'a pas été trop chahutée puisque tout a été baissé en même temps, mais qui peut donner

http://fribok.blogspot.com/

l'impression d'avoir « perdu quelque chose en route » ou d'être « passé sous un rouleau compresseur ». Pour cette raison, des techniciens du son ont eu la bonne (?) idée de découper la bande passante en plusieurs parties (3, 5 ou 7 bandes par exemple), et de travailler individuellement sur chacune d'elles, comme on peut le faire avec un égaliseur. Ainsi, un signal de basse fréquence trop fort sera abaissé sans forcément occasionner de baisse du côté des aigus.

Sepatoo – Fichtre ! C'est drôlement astucieux ! Si j'ai bien compris, chaque bande de fréquence peut ainsi voir son niveau monter le plus haut possible, dans la limite qui lui est propre. Mais dites-moi, ceci n'occasionne-t-il pas une augmentation globale de la puissance sonore, puisque les aigus contiennent à l'origine naturellement moins d'énergie ?

Tentatoo – Et si, et c'est là que l'on reconnaît à l'écoute, les stations radio qui « sonnent » très fort. À puissance HF égale et avec les mêmes conditions de diffusion hertzienne, la radio qui ne possède qu'un simple compresseur est complètement « larguée ».

Sepatoo – Ce que vous me dites là m'angoisse profondément… Comment donc va être perçu le son de ma radio FM à côté de ces mastodontes du son ?!

Tentatoo – Mais Sepatoo, j'avais cru comprendre que vous vouliez juste expérimenter dans votre chambre…

Sepatoo – Heu… c'est vrai. Mais tout de même, je vais bien devoir comparer le son de ma radio avec les autres pour être sûr que tout se passe bien.

Tentatoo – Je ne vous conseille pas de tenter la comparaison, vous n'en finiriez jamais de toucher à tous vos réglages, sans jamais parvenir à égaler les « grands ». Vous savez, tous ces traitements sophistiqués ne font pas que du bien au son. Ce dernier, quand il est trop traité, est finalement assez désagréable à écouter et peut devenir très rapidement fatiguant. De plus, les nuances sonores qui différencient entre elles les chansons ou musiques, sont fortement atténuées, et on a le sentiment que tous les morceaux se ressemblent. J'en suis persuadé, je préférerai le son de votre radio, comparée à certaines que je n'arrive pas à écouter plus de trois minutes.

Sepatoo – Voilà donc le revers de la médaille… Je me disais aussi que tout cela était trop beau. Mais si le son ainsi traité est si désagréable, pourquoi donc les radios s'obstinent-elles dans cette démarche ?

Tentatoo – Pour que le son paraisse le plus fort possible. Et que l'auditeur qui « zappe » ait envie de s'arrêter dessus quand il l'entend. Pensez donc aux publicitaires qui s'accrochent aux statistiques d'écoute…

Sepatoo – Je comprends mieux maintenant. Eh bien je vais essayer de trouver un compresseur de modulation stéréo de bonne qualité, bon marché, et surtout qui ne crée pas le défaut de mon petit magnétophone !

Tentatoo – Le défaut dont vous parlez est appelé *pompage*. Il est quasiment imperceptible sur les compresseurs bien conçus, à condition toutefois qu'ils soient bien bien réglés, car un mauvais réglage pourrait fort bien vous faire oublier que vous avez entre les mains une excellente machine ! Mais dites-moi, Sepatoo, n'avez-vous donc pas envisagé un seul instant de réaliser vous-même votre compresseur ou limiteur de modulation ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Le réaliser moi-même ? Bien sûr que j'y avais pensé ! Mais quand vous m'avez parlé du détecteur, des problèmes éventuels de pompage, je me suis dit que ce n'était vraiment pas le type de montage pour moi.

Tentatoo – Et si vous regardiez une petite minute le schéma en **figure 2.5**.

Sepatoo – Il a l'air terriblement simple, de quoi s'agit-il ?

Tentatoo – D'un limiteur de modulation.

Sepatoo – Ah oui, tiens, je devais être un peu dans les nuages… Il faut dire que je viens juste d'échapper à une crise cardiaque. Ainsi, ces quelques rares composants suffisent pour réaliser un limiteur de modulation ?

Tentatoo – Ne paniquez donc pas ainsi. Il est vrai que l'on utilise un circuit spécialisé de type NE571, que vous ne connaissez peut-être pas. Mais tout le reste ne devrait vous poser aucune difficulté de compréhension, car ce ne sont finalement que des amplificateurs opérationnels et des comparateurs de tension très courants. J'imagine maintenant que vous allez réfléchir plus sérieusement à la question.

Sepatoo – Pour sûr ! J'espère simplement que le circuit intégré spécifique qui fait tout n'est pas hors de prix, et qu'on peut le trouver facilement.

Tentatoo – Ce circuit est encore fabriqué, actuellement bien distribué et coûte entre 5 et 10 €, tout en vous permettant de traiter un signal stéréo. Mais on ne sait jamais ce que nous réserve l'avenir avec les circuits spécialisés. Tant qu'ils se vendent, il n'y a pas trop de soucis à se faire. Alors, pensez-vous que cela ira ?

Sepatoo – Merveilleux ! Vous m'avez convaincu, et j'essayerai rapidement ce montage. Mais j'ai tout de même un peu peur pour la disponibilité de ce circuit. J'ai déjà eu quelques déboires avec des circuits intégrés exotiques, que je n'arrivais pas à trouver chez mes revendeurs préférés.

Tentatoo – Si vous avez vraiment la crainte de ne pouvoir trouver ce circuit, ce que je comprends tout à fait, vous pouvez toujours vous tourner vers un schéma n'utilisant que des composants électroniques classiques. Je vous en montrerai quelques-uns, si vous le souhaitez.

Sepatoo – Voilà une riche idée. Bien, maintenant que mon signal audio a une dynamique parfaitement maîtrisée, je peux le rentrer directement dans le modulateur de mon émetteur FM ?

Tentatoo – Eh non, j'en suis bien désolé, il faut encore le traiter un peu…

Sepatoo – Traiter encore mon signal audio ? Mais pourquoi donc ? Que m'avez-vous encore caché ?

Tentatoo – Mais je n'ai rien à cacher du tout. Vous devez juste en apprendre encore un peu avant de vous lancer dans la construction de votre station radio, c'est tout.

Sepatoo – Certes, il est vrai que nous n'en sommes qu'au début. Je vous laisse donc continuer.

Tentatoo – Je vous propose plutôt d'arrêter pour ce matin, et de reprendre la discussion après le déjeuner. Je ne sais pas pour vous, mais en ce qui me concerne, j'ai grande faim. Je vous souhaite bon appétit.

Sepatoo – Une pause est une idée qui ne me déplaît jamais. Bon appétit à vous aussi, et à tout à l'heure.

http://fribok.blogspot.com/

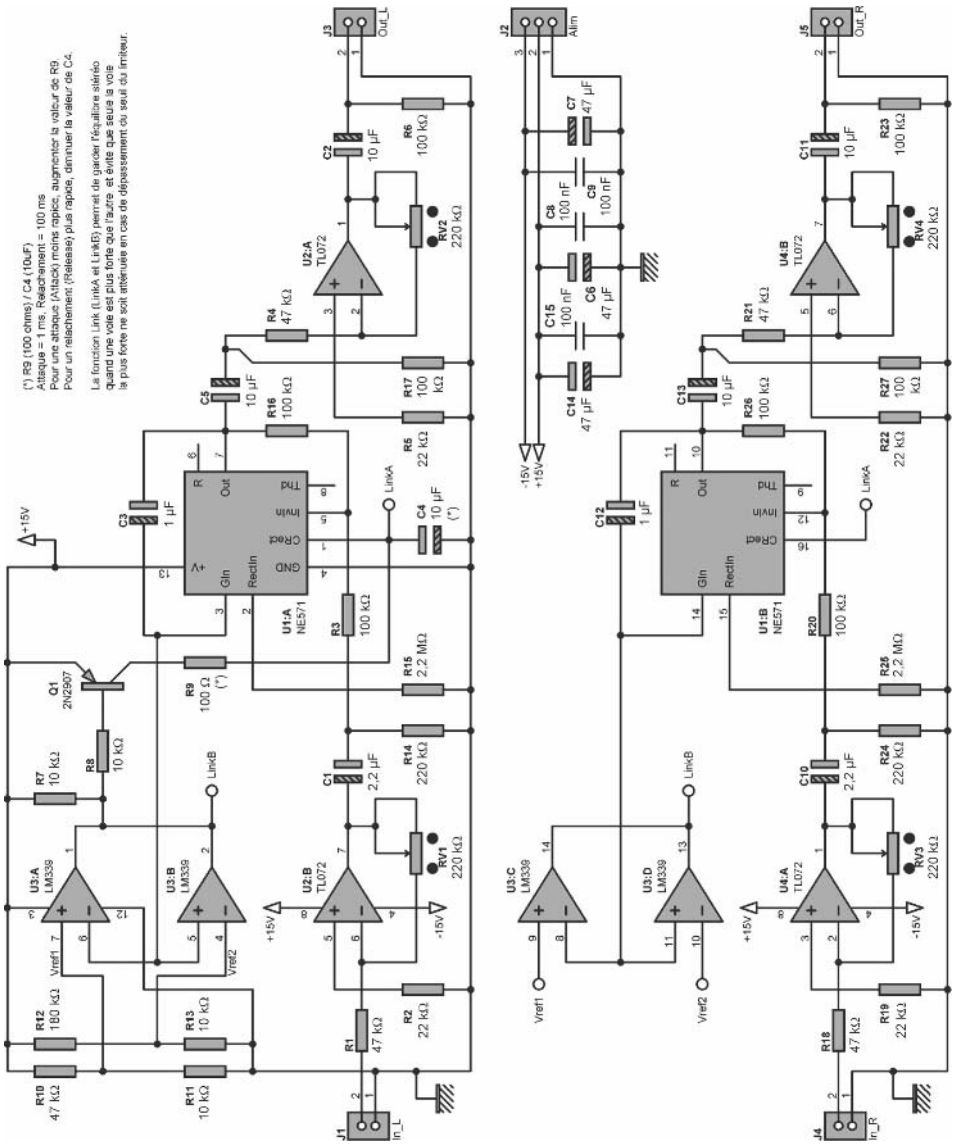


Figure 2.5

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

2.3 Filtrage passe-bas

Tentatoo – Alors Sepatoo, avez-vous bien déjeuné ?

Sepatoo – Je dois vous avouer que je n'ai pas arrêté de penser à la dynamique du signal audio, et j'essayais d'imaginer tous ces traitements bizarres que pouvaient mettre en œuvre les fabricants de matériels audio.

Tentatoo – Vous avez raison, certains parviennent à inventer des traitements vraiment impressionnants. Mais si vous le voulez bien, nous allons maintenant attaquer la suite de notre discussion, et parler de filtrage. Plus précisément de *filtrage passe-bas*.

Sepatoo – Voulez-vous dire que l'on va filtrer les aigus contenus dans le signal audio ?

Tentatoo – Tout à fait, Sepatoo !

Sepatoo – Diable, mais le son va être horrible ! Je me rappelle du son délivré par mon vieux magnétophone dont la tête de lecture était toute sale, tous les aigus étaient étouffés.

Tentatoo – Mais Sepatoo, n'avez-vous jamais écouté une station de radio FM pour avancer de telles choses ?

Sepatoo – Si, bien entendu. Et je me demandais justement pourquoi le son était si étouffé. Je le sais maintenant : c'est à cause du filtrage passe-bas.

Tentatoo – À mon avis, l'absence d'aigus que vous avez pu observer était sûrement liée à votre système d'écoute, tuner ou haut-parleurs. Car le filtrage passe-bas dont je vais vous parler n'occasionne pas une baisse des aigus qui puisse être gênante à ce point.

Sepatoo – Vous avez peut-être raison. Mais alors, pourquoi opérer un filtrage si le résultat ne s'entend quasiment pas à l'oreille ?

Tentatoo – Parce que le filtrage en question n'est pas destiné à corriger une imperfection ni à répondre à une préférence personnelle. Il s'agit plutôt d'un filtrage que l'on pourrait qualifier de « filtrage de protection ».

Sepatoo – Un filtrage de protection ? Mais que protéger contre quoi ?

Tentatoo – Nous n'avons pas encore abordé le codage stéréo qui permet la transmission d'un programme stéréo. Mais je peux déjà vous dire que pour ce faire, nous avons besoin d'une fréquence porteuse dite *fréquence pilote*, à 19 kHz très précisément. Et que comme la valeur de 19 kHz se trouve dans la bande audio 20 Hz à 20 kHz, certains signaux audio de fréquence élevée pourraient gêner la fréquence pilote. On filtre donc le haut du spectre sonore de telle sorte que la fréquence pilote 19 kHz soit seule dans son coin et ne soit pas perturbée par des signaux audio « brouilleurs » (**figure 2.6**).

Sepatoo – Je comprends. Les signaux audio sont donc filtrés à partir de 18 kHz. Tout ce qu'il y a avant est conservé, et tout ce qui est au-delà est supprimé. Finalement, on ne supprime que la bande 18-20 kHz, ce qui effectivement ne doit pas s'entendre beaucoup.

Tentatoo – Oh, Sepatoo ! Je ne sais pas d'où vous tirez cette valeur de 18 kHz, mais vous n'avez pas bien regardé la **figure 2.6**. De plus, il me semble bien que nous avons par le passé, parlé des filtres et de la difficulté d'obtenir des filtres à pente très raide. Or là, vous avancez sans complexe que l'on peut commencer à filtrer un signal audio à partir de 18 kHz et ne rien laisser

http://fribok.blogspot.com/

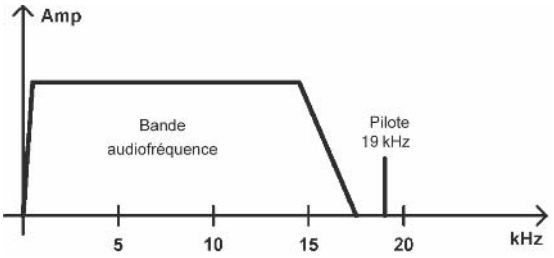


Figure 2.6

subsister à 19 kHz. Un exploit ! Non, cela n'est pas possible avec un système analogique simple. La fréquence de coupure de notre filtre passe-bas est fixée à 15 kHz. De cette façon, la pente d'atténuation n'a pas besoin d'être aussi raide qu'avec une fréquence de coupure de 18 kHz, ce qui simplifie un peu sa réalisation et réduit en même temps son coût.

Sepatoo – En effet, je me souviens maintenant de la difficulté de réaliser un filtre à pente raide. Mais dites-moi, une fréquence de coupure à 15 kHz me semble bien basse dans le spectre sonore. Êtes-vous certain que cela ne s'entendra pas ?

Tentatoo – Je n'ai jamais dit que cela ne s'entendrait pas. J'ai juste dit que cela s'entendrait peu. Vous savez, passé un certain âge, on entend de moins en moins les fréquences aiguës, et la différence entre audio filtré à 15 kHz et audio non filtré n'est plus très grande. Et si l'on fait la comparaison avec les émissions diffusées en grandes ondes (GO) où le signal audio transmis ne dépasse pas 8 kHz, vous conviendrez que 15 kHz reste une valeur fort convenable.

Sepatoo – 8 kHz ! Mais ne serait-ce point là la raison du son étouffé observé avec mon poste de radio dont je vous parlais tout à l'heure ?

Tentatoo – Eh bien Sepatoo, j'espère au moins que si c'est le cas, vous êtes encore capable de faire la différence entre les programmes audio diffusés en FM et ceux diffusés en AM. Si vous ne pouvez pas faire la différence, c'est que votre système d'écoute est pitoyable, ou alors que vos oreilles ont terriblement souffert, ce que sincèrement je ne vous souhaite pas. Écouteriez-vous souvent de la musique au casque avec un baladeur, volume à fond, par hasard ?

Sepatoo – Oh que non ! On m'a averti des risques que j'encourais, et j'ai banni à jamais ces appareils de ma vue !

Tentatoo – Il n'y a pas grand risque si vous écoutez de la musique avec ce type d'appareil à faible volume, vous savez. Ce qui me désole aujourd'hui, c'est tous ces jeunes qui écoutent parfois la musique tellement fort qu'on arrive à comprendre les paroles des chanteurs quand on est à côté d'eux. Ceux-là auront vite fait de ne plus faire la différence entre une radio FM et une radio AM, j'en ai bien peur. Quoi que dans une certaine mesure, je ne sais pas si les radios AM et FM leur sont si familières, tant les radios web et les lecteurs multimédias portables sont entrés dans la vie de tous les jours. Enfin, nous ne changerons pas le monde. Et le filtrage passe-bas sera toujours présent à l'entrée des émetteurs FM.

Sepatoo – Quelle belle conclusion.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Je vous sens un peu moqueur, Sepatoo.

Sepatoo – Je ne me permettrais pas ! Mais pour en revenir à nos filtres, cela est-il compliqué à faire ?

Tentatoo – Tout est toujours relatif, Sepatoo. Que pensez-vous du schéma présenté à la **figure 2.7** ?

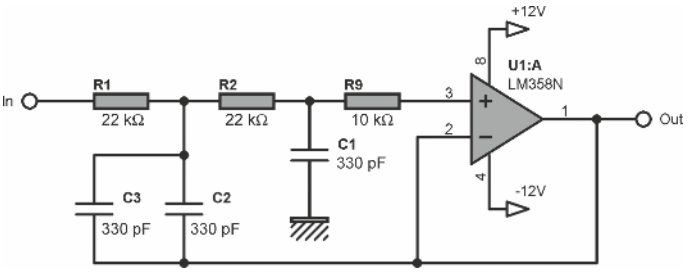


Figure 2.7

Sepatoo – Qu'il est très simple et que je m'en contenterais bien. Mais, vous connaissant, derrière cette simplicité doit se cacher une grande misère. Y aurait-il dans ce schéma un de ces fameux pièges que parfois vous prenez plaisir à me tendre ?

Tentatoo – Point de piège dans ce schéma, Sepatoo, et je n'ai jamais pris plaisir à en poser. Mais vous avez raison, ce schéma est « trop » simple. Bien que nous disposions d'une petite marge de sécurité entre 15 kHz et 19 kHz, le filtre doit tout de même avoir une pente assez prononcée, et ce filtre ne suffit pas pour obtenir de bonnes performances. Voyez vous-même l'allure de la courbe de réponse de ce filtre, en **figure 2.8**.

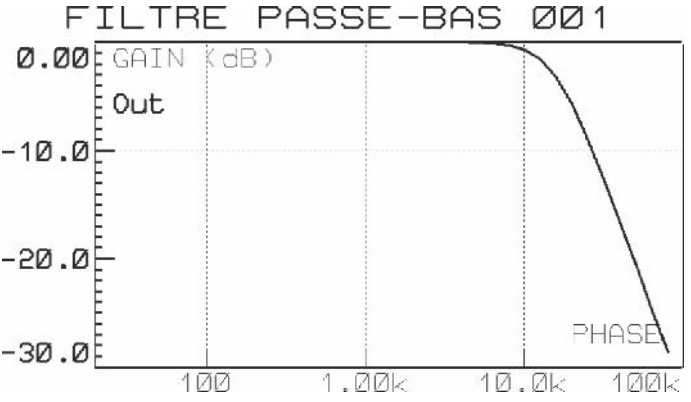


Figure 2.8

Sepatoo – Cette courbe démontre en effet un bien piètre résultat, et cela me désole profondément. Pourtant la pente semble raide.

Tentatoo – Ne vous laissez pas piéger par l'allure générale de la courbe, qui est forcément liée aux échelles horizontale et verticale du graphique. Ici, l'échelle horizontale s'arrête à 100 kHz, vous avez l'impression d'avoir un filtre plus efficace, car à 100 kHz, l'atténuation est de l'ordre de 30 dB, et la

http://fribok.blogspot.com/

pente semble forte car elle doit tenir dans le cadre de la courbe. Je vous laisse maintenant le soin de faire les comparaisons qui vont bien entre le précédent schéma et le schéma présenté en **figure 2.9**.

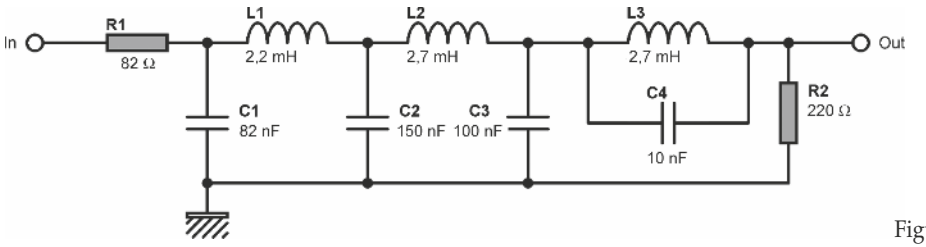


Figure 2.9

Tentatoo – Dans le schéma précédent, je n'ai pas représenté les circuits d'adaptation d'impédance situés en entrée et en sortie du filtre, pour nous permettre de nous concentrer sur la section assurant vraiment la fonction de filtrage. Le schéma complet, traitant les deux voies gauche et droite, est représenté en **figure 2.10** (page suivante), afin que vous puissiez voir comment un tel filtre peut être utilisé en pratique.

Sepatoo – Je m'en doutais ! Je savais que nous allions avoir droit à des selfs !

Tentatoo – Je ne comprends pas ce qui vous affole à ce point. Ces selfs sont de simples composants électroniques qui ressemblent à des résistances ou à des condensateurs et que l'on peut acheter toutes faites, comme le montre la **figure 2.11**. Les selfs que nous utiliserons pour notre filtre seront du même type que la self rectangulaire bleue NEOSID, visible sur la partie droite de la photo.

Figure 2.11

Sepatoo – Vous voulez dire que je n'aurai pas besoin de les bobiner moi-même ?

Tentatoo – Mais enfin Sepatoo, même si cela avait été le cas, auriez-vous pour autant abandonné votre beau projet ?

Sepatoo – C'est bien possible. Voyez-vous, les selfs ont toujours été des bêtes noires pour moi.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

http://fribok.blogspot.com/

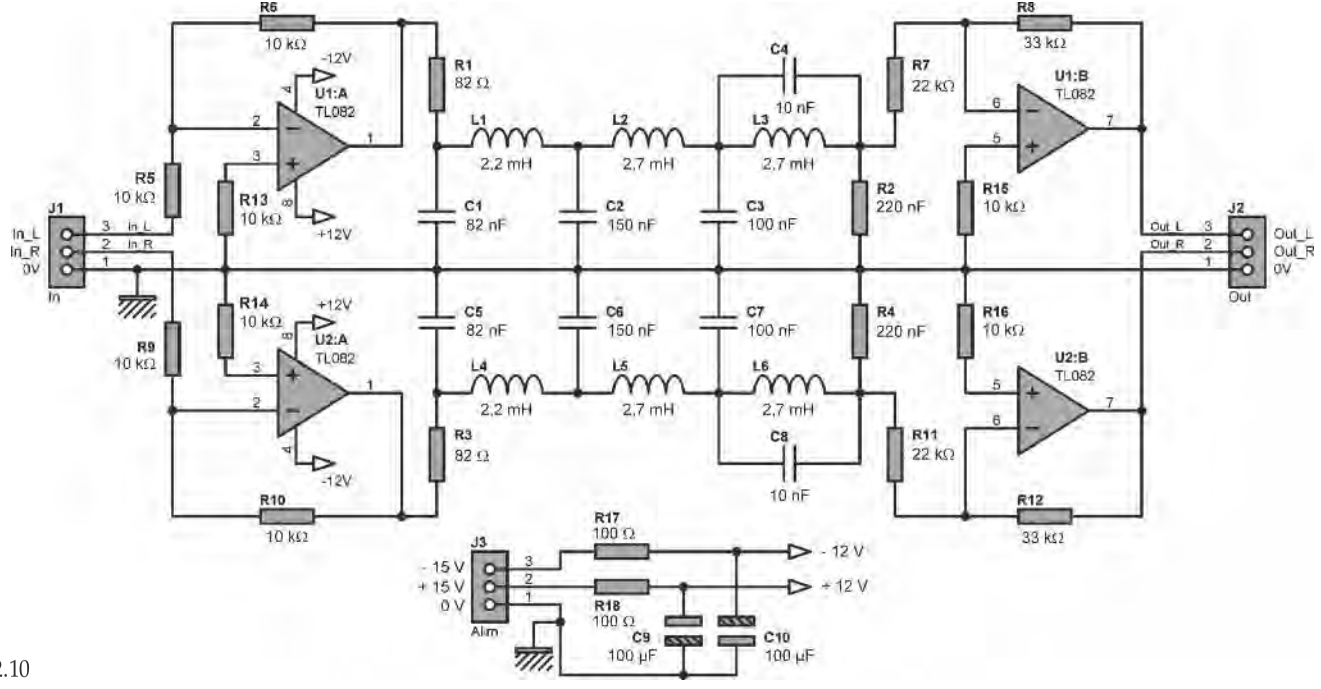


Figure 2.10

Tentatoo – Je tiens à vous rassurer tout de suite. Il y a des selfs qui sont très simples à construire, et d'autres qui demandent un peu de patience. Celles que vous aurez à faire sont très simples.

Sepatoo – Mais vous venez de me dire que je n'aurai pas besoin de les fabriquer…

Tentatoo – Je parlais des selfs du filtre passe-bas. Nous n'avons pas encore abordé la section haute fréquence, où il est très difficile de se passer de selfs à faire soi-même. Mais je le répète, ces dernières seront très simples à réaliser, et ne vous demanderont que quelques minutes de votre temps.

Sepatoo – Je préfère pour le moment penser au schéma de notre filtre, qui me fera faire moins de cauchemars.

Tentatoo – Je ne pensais pas que les selfs pouvaient avoir un tel effet sur vous, mais mettons cela sur le compte de la fatigue. Je ne vais pas insister, nous aurons l'occasion d'en reparler quand vous serez reposé. Continuons donc notre discussion là où nous l'avions laissée. Le dernier schéma que je vous ai proposé présente une particularité. Sauriez-vous la localiser ?

Sepatoo – Le schéma montre que chaque self est couplée à un condensateur pour former un filtre passe-bas. Mais la dernière self n'est pas câblée de la même façon, elle est montée en série avec les cellules précédentes, et avec un condensateur en parallèle. Cette dernière cellule constituerait-elle la particularité dont vous parlez ?

Tentatoo – Tout à fait ! Et avez-vous une idée du rôle de cette dernière cellule ?

Sepatoo – Eh bien je suppose qu'elle forme un filtre passe-haut avec la résistance qui suit.

Tentatoo – Un filtre passe-haut ? Quelle drôle d'idée, ne cherchons-nous donc pas à atténuer les fréquences dans le haut du spectre ?

Sepatoo – Ah c'est vrai. Alors je ne vois pas. Je n'ai pas souvenir d'avoir aperçu un tel montage dans un cours précédent.

Tentatoo – Cette cellule est un *filtre coupe-bande*…

Sepatoo – … Ah oui, un filtre qui laisse passer seulement une certaine bande de fréquences !

Tentatoo – Non, Sepatoo. Ce n'est pas un filtre passe-bande, mais un filtre coupe-bande. Ce qui signifie qu'il *atténue* une certaine bande de fréquence.

Sepatoo – Je m'étais trompé de peu, le principal étant de retenir que le filtre travaille sur une plage de fréquences donnée.

Tentatoo – C'est une façon de penser que je ne partage pas avec vous. Il est très important de ne pas mélanger les diverses fonctions des filtres. Imaginez un instant que pour atténuer un ronflement à 100 Hz, vous développiez un filtre passe-bande calé sur 100 Hz.

Sepatoo – Effectivement, mon futur employeur serait capable de me faire des reproches.

Tentatoo – C'est peu de le dire. Pour résumer, nous avons donc là un filtre passe-bas suivi d'un *filtre rejecteur* (rejecteur est un autre terme pour désigner un filtre coupe-bande dont la largeur de bande est très étroite). À votre avis,

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

et sans sortir votre calculatrice, pouvez-vous me dire dans quelle bande de fréquence travaille ce filtre rejecteur ?

Sepatoo – Hum… 19 kHz ?

Tentatoo – Bravo, Sepatoo ! Ce filtre sert en effet à renforcer l'atténuation du filtre passe-bas qui précède, car comme nous l'avons déjà vu, il est difficile d'avoir un filtrage avec une pente raide.

Sepatoo – J'imagine qu'avec un filtre numérique, nous serions moins embêtés.

Tentatoo – Le filtrage numérique permet effectivement d'obtenir une forte pente d'atténuation ayant une très grande précision, et ce avec une grande facilité. Mais nous nous sommes promis de faire au mieux avec des moyens simples, et sans composant spécifique si possible. Voyez la courbe représentant la bande passante obtenue avec ce filtre, en **figure 2.12**. Ce n'est pas si mal, ne trouvez-vous pas ?

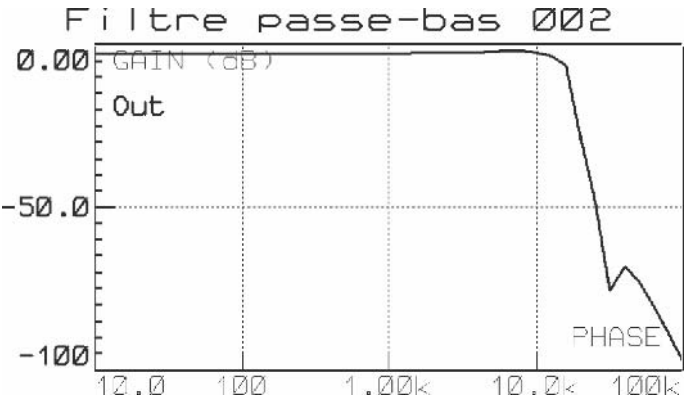


Figure 2.12

Sepatoo – Certes, on note quelques imperfections dans l'allure de la courbe, mais l'atténuation à partir de 15 kHz est aussi plus importante. J'imagine qu'en utilisant des condensateurs ajustables, des selfs ajustables et des résistances ajustables, on pourrait améliorer la forme de cette courbe.

Tentatoo – Préférez-vous donc passer vos soirées à ajuster un filtre, plutôt que regarder un bon film ou écouter la radio ? Ce filtre présente une atténuation de 20 dB à 19 kHz, pour une atténuation de 3 dB à 15 kHz, ce qui est déjà bien mieux que ce que nous avions avec notre précédent circuit. Sa perte d'insertion dans la bande utile est de l'ordre de 3 dB, ce qui se compense aisément par une petite amplification additionnelle.

Sepatoo – Bien sûr que non, je n'ai pas envie de passer ma vie à régler des filtres. Mais il faut savoir ce que l'on veut, et pour de bonnes performances du filtre, je pense que des éléments ajustables feraient merveille.

Tentatoo – Vous vous trompez, Sepatoo. Dans le cas présent, vous n'arriveriez pas à obtenir des performances très supérieures en rendant tout ajustable. Sauf peut-être pour la cellule de rejection, qui aurait avantage à être parfaitement centrée sur la fréquence de 19 kHz. Je note ce point, nous prévoirons la possibilité d'implanter une self ajustable pour ceux qui désireront suivre votre trace. Mais avant de passer à la causerie suivante, sachez qu'il existe

http://fribok.blogspot.com/

d'autres types de filtres similaires en forme (association de condensateurs et de selfs) dont l'efficacité est bien meilleure encore, et dont les seuls reproches qu'on peut leur faire sont leur difficulté de réglage et leur coût de revient. Mais dans le monde professionnel, où aucun compromis de qualité n'est toléré, ces arguments ne sont évidemment pas suffisants pour mettre ces filtres de côté de façon définitive. Notons pour finir qu'il est également possible d'utiliser des amplificateurs opérationnels montés en gyrateurs et permettant de simuler des selfs, ce qui permet de construire des filtres offrant des performances similaires sans aucune self ! Dans le cas qui nous concerne, nous pourrons choisir entre le premier et le second filtre. Ils sont moins performants que les filtres « professionnels » mais suffiront bien pour nos expériences.

Sepatoo – Cette aventure avec des filtres aussi complexes fut convaincante. Et je suis heureux d'avoir pu participer aussi activement à leur conception.

Tentatoo – Moi aussi Sepatoo. À tel point qu'à la vue de ce dont vous êtes maintenant capable, je vais vous laisser concevoir de A à Z la cellule de préaccentuation.

2.4 Préaccentuation

Sepatoo – J'aimerais pouvoir vous rendre ce service, mon cher ami. Si toutefois vous consentez à me dire ce que cette cellule a d'indispensable dans l'affaire !

Tentatoo – Je blaguais, Sepatoo. Je vais bien entendu vous parler du rôle de cette cellule avant de vous montrer quelque schéma électronique que ce soit. Avant tout, il est utile de savoir que la transmission d'un signal en modulation de fréquence n'est pas sans conséquence sur ledit signal.

Sepatoo – Voulez-vous dire que le signal utile qui a servi à moduler l'onde porteuse, va être dégradé du fait même de la modulation de fréquence ?

Tentatoo – Oui. La dégradation principale concerne le rapport signal sur bruit, qui devient de plus en plus mauvais au fur et mesure que l'on monte en fréquence. Les sons aigus sont plus fortement affectés par le bruit de la transmission que ne le sont les sons graves. Et pour simplifier la chose, la musique comporte souvent plus d'énergie dans les basses fréquences, surtout quand elle n'est pas exagérément traitée après l'enregistrement. Pour éviter une dégradation trop importante du rapport signal sur bruit dans les fréquences aiguës, il a été décidé d'augmenter l'amplitude des signaux BF d'autant plus que leur fréquence est élevée, avant modulation et transmission sur les ondes. Cette amplification « sélective » des aigus répond à une courbe appelée *courbe de préaccentuation*, qui a l'allure de la **figure 2.13**. On constate que le signal BF commence à être amplifié de façon « visible » aux alentours de 400 Hz, et que le gain à 10 kHz est de 10 dB.

Sepatoo – Je n'y comprends plus rien. Tout à l'heure, vous disiez qu'il fallait atténuer les aigus, et maintenant vous dites qu'il faut les augmenter ! Cette opération de préaccentuation ne risque-t-elle pas d'annuler l'opération précédente de filtrage passe-bas ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

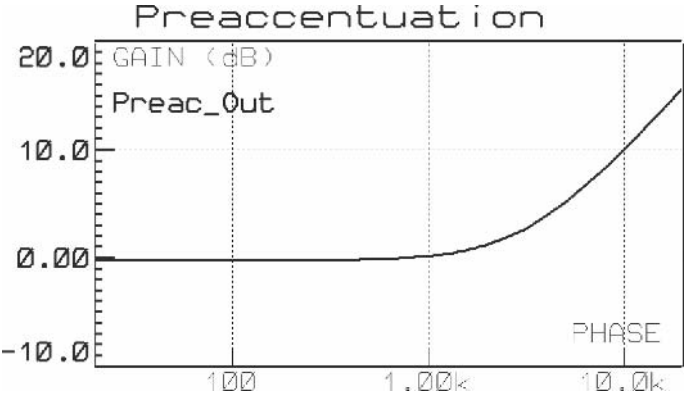


Figure 2.13

Tentatoo – Pas du tout, car le traitement n'est pas opéré au même endroit du spectre sonore. Le filtrage passe-bas est opéré au-delà de 15 kHz, alors que la préaccentuation agit sur la bande des fréquences comprises entre 400 Hz et 15 kHz.

Sepatoo – Soit. Mais en procédant de la sorte, le son ne risque-t-il pas d'être très aigu au moment de la réception ?

Tentatoo – Si nous ne procédons pas à l'opération inverse au moment de la réception, le son sera effectivement très aigu et très désagréable à écouter. C'est pourquoi bien entendu le nécessaire est fait dans le récepteur, afin de retrouver au final le son d'origine. Le graphe donné en **figure 2.14** montre l'allure de la courbe d'atténuation des aigus, appelée *courbe de désaccentuation*, mise en œuvre dans les récepteurs FM. Notez que cette courbe commence à prendre effet aux alentours de 400 Hz et que l'atténuation à 10 kHz est de 10 dB. On est bien en présence d'une courbe dont l'effet est le miroir de celui de la courbe de préaccentuation.

Sepatoo – Encore des complications pour rien. Modifier le son dans un sens puis dans l'autre, pour finalement le retrouver comme s'il n'avait pas été touché. Admettez que je suis en droit de me poser des questions concernant le bon sens des concepteurs de matériel.

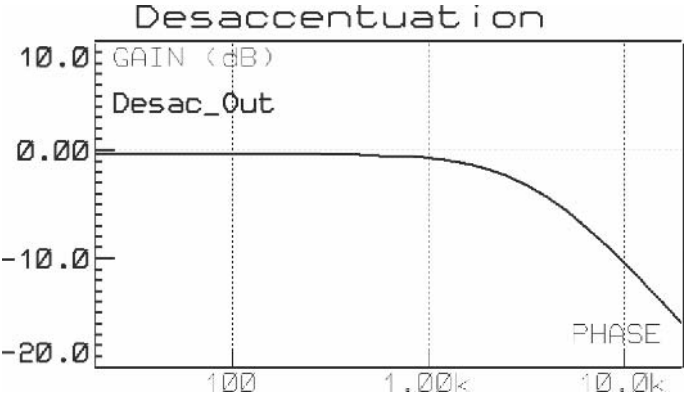


Figure 2.14

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous oubliez ce dont nous parlions il y a quelques minutes. Le son d'origine subit une altération du rapport signal sur bruit pendant la transmission, et cette altération est plus prononcée dans les fréquences aiguës. Avec l'opération de désaccentuation effectuée dans le récepteur, le bruit qui a été « ajouté » pendant la transmission est atténué en même temps que les aigus du son utile. On retrouve donc le son d'origine, mais avec moins de bruit, nous avons donc gagné en rapport signal sur bruit. Vous n'imaginez tout de même pas que les fabricants de matériels vont s'amuser à ajouter des composants électroniques rien que pour le plaisir d'augmenter leurs prix de vente.

Sepatoo – Effectivement, c'est un argument qui se tient. Maintenant que nous avons vu la forme des courbes de préaccentuation et de désaccentuation, auriez-vous la gentillesse de me soumettre un schéma électronique où l'on voit des composants effectuer ces deux opérations ?

Tentatoo – Mais bien entendu. Voici deux schémas mettant en œuvre des amplificateurs opérationnels, sachant qu'il est bien sûr possible d'utiliser des transistors pour faire le travail. Le premier schéma assure la fonction de préaccentuation (**figure 2.15**) et le second, la fonction de désaccentuation (**figure 2.16**). Le point de flexion des courbes précédentes correspond à ce qu'on appelle une constante de temps, déterminée par exemple par un simple réseau RC. Cette constante de temps est ici de 50 us, mais sachez qu'aux États-Unis, la constante de temps est de 75 us. C'est pourquoi certains émetteurs radio disposent d'une commutation permettant de passer d'une valeur à l'autre, pour s'adapter au pays d'utilisation.

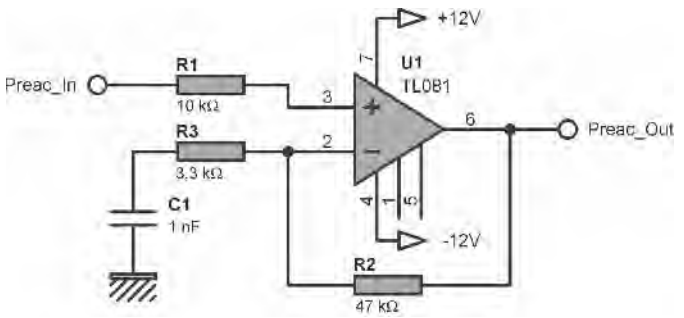


Figure 2.15

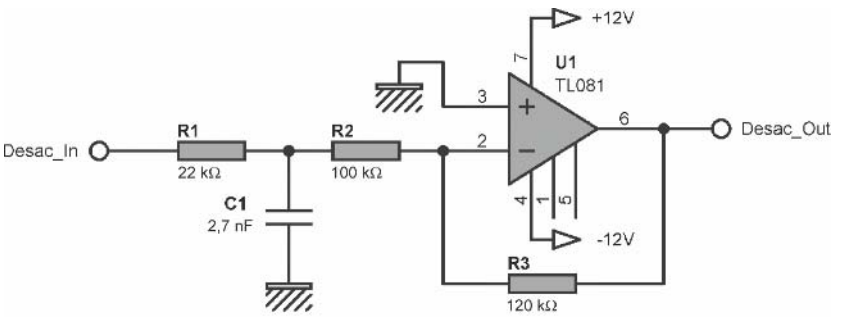


Figure 2.16

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ces schémas à base d'AOP me semblent simples, je suis donc forcé de les adopter sans condition.

Tentatoo – Il est vrai que le nombre de composants requis est faible. Et cela tombe bien que vous les aimiez, puisque ce sont ces schémas que nous mettrons en œuvre dans notre réalisation finale.

Sepatoo – Il m'est agréable de constater que pour une fois, vous n'avez pas décidé d'utiliser des schémas plus compliqués rien que pour m'embêter.

Tentatoo – Ce n'est pas très gentil ce que vous dites là. Quand je vous propose un schéma soi-disant compliqué, c'est parfois parce qu'il regorge de petits morceaux intéressants.

Sepatoo – Intéressants peut-être, mais bougrement générateurs de migraines.

Tentatoo – Avant que ne se déclare votre prochain mal de tête, je vous propose de faire une pause et d'aller déjeuner.

Sepatoo – Déjà l'heure ? Je n'ai pas vu le temps passer ! Mais je ne refuse pas votre proposition.

2.5 Codage stéréo et compatibilité mono/stéréo

Tentatoo – Alors Sepatoo, avez-vous bien déjeuné ?

Sepatoo – Oh la la, ne m'en parlez pas, je n'ai presque rien avalé ! Après vous avoir quitté, j'ai couru chez le premier distributeur de matériel audio qui était ouvert, et le malheureux qui m'a accueilli n'y connaissait apparemment pas grand-chose. Quand je lui ai parlé de mon projet, il m'a fait éloge d'appareils multi-bandes, de noise-gate, d'élargisseur de stéréo et de limiteur d'overshoot ! Moi qui voulais un simple compresseur, je suis reparti la tête bien basse… Tous ces termes affreux ont fait l'effet de fantômes qui m'ont empêché de déguster mon sandwich au thon !

Tentatoo – Vous êtes à mon avis tombé sur quelqu'un qui connaissait bien son sujet, mais qui n'a pas bien évalué votre besoin ou qui a essayé de vous vendre plus que de besoin. Tout ce dont il vous a parlé est utilisé par des grandes et moyennes radios, nous en avons un peu parlé ce matin. Mais oublions un peu cela, et reprenons le sujet là où nous l'avions arrêté.

Sepatoo – Un nouveau traitement audio à appliquer, disiez-vous donc ?

Tentatoo – Oui. Si votre signal audio devait être diffusé en monophonie, il ne resterait en réalité que bien peu de choses à faire avant de l'envoyer à l'entrée de votre émetteur FM. En fait, le travail serait même terminé et nous n'aurions rien d'autre à faire côté basse fréquence. Or, votre signal audio doit être diffusé en stéréophonie, et j'imagine bien que vous aimeriez pouvoir le recevoir aussi bien avec un récepteur stéréo qu'avec un récepteur mono.

Sepatoo – Cela me semblerait assez sage, en effet.

Tentatoo – Par le passé, les émissions étaient assurées en mono, et les récepteurs radio ne connaissaient que ce mode de diffusion. Quand la stéréo est arrivée, il a fallu trouver un procédé de diffusion compatible mono/stéréo. En d'autres termes, il fallait qu'un récepteur mono puisse recevoir un signal diffusé en stéréo.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ce qui ne doit pas être si compliqué, tout de même ! Il suffit de… attendez voir que je réfléchisse… eh bien oui, il suffit de diffuser en même temps un signal mono et un signal stéréo ! Quelle complication là-dedans ?

Tentatoo – Quelle complication là-dedans ? J'aurais aimé voir la tête de ceux qui ont cherché avant vous, s'ils vous avaient entendu faire cette proposition avec autant de sang-froid ! Replacez-vous à l'époque des faits, et essayez de réfléchir un peu. Il fallait alors concevoir un système qui soit compatible autant du côté de l'émetteur que du côté des récepteurs. Si seuls quelques émetteurs devaient être fabriqués, le nombre de récepteurs se comptait quant à lui en dizaines ou centaines de milliers (même plus par la suite). Et chose importante, on ne voulait pas casser l'existant. Je ne vais pas entrer dans les détails qui ont conduit aux choix retenus, et je vais juste vous résumer ce qui a été décidé par les « grandes instances ». En mode de diffusion mono, et ce depuis le début de la diffusion FM, il a été décidé de diffuser un seul signal, qui correspond à la somme des deux voies gauche et droite du signal stéréo. On se retrouve donc avec un signal unique qui contient les informations sonores des deux voies gauche et droite (signal somme G+D), on n'a rien perdu en chemin. En mode de diffusion stéréo, il a été décidé de conserver le signal somme des deux voies gauche et droite du signal stéréo (le même que celui diffusé en mode mono, c'est-à-dire G+D), et d'ajouter un signal supplémentaire correspondant à la différence des deux voies gauche et droite de ce même signal stéréo (signal différence G–D). Le système permettant d'élaborer tous les signaux utiles pour une diffusion en stéréo, s'appelle un *codeur stéréo*.

Sepatoo – Somme ? Différence ? Mais nous nageons en plein dans les mathématiques !

Tentatoo – C'est tout à fait vrai. Et encore, ce ne sont là que des calculs bien simples, pouvant être réalisés avec de simples transistors ou amplificateurs opérationnels. Nous verrons plus loin que l'addition et la soustraction peuvent cacher quelques autres subtilités mathématiques, et qu'il ne s'agit pas des seules opérations auxquelles nous pourrons avoir affaire.

Sepatoo – Puisse ce moment venir le plus tard possible…

Tentatoo – Votre courage devant les formules mathématiques fait mouche une fois de plus. Soit, nous survolerons le sujet de haut, je n'ai pas envie de vous voir vous évanouir comme c'est arrivé l'an passé quand j'ai tenté de vous parler des intégrales.

Sepatoo – Ce n'était donc pas un rêve…

Tentatoo – Vous devez vivre heureux, Sepatoo. Pouvoir ainsi échapper aux dures réalités de la vie n'est pas donné à tout le monde. Mais continuons, voulez-vous. Je disais donc que pour assurer une diffusion en stéréo, il fallait constituer un signal *somme* et un signal *différence* à partir des deux voies gauche et droite de notre source audio stéréo. Je vais donc maintenant vous expliquer comment procéder. En fait rien de bien compliqué dans ce processus, surtout pour la partie somme. On se contente de mélanger les deux voies gauche et droite, ce qui peut être réalisé à l'aide de deux résistances.

Sepatoo – Deux résistances suffisent pour faire une sommation ? Mais dans vos cours passés, vous disiez qu'il fallait au moins un transistor !

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Je n'ai pas vraiment dit cela comme ça, et pour le moment, je parle uniquement de l'opération de sommation. Vous semblez avoir oublié que le transistor ou l'AOP ne sont ajoutés que si l'affaiblissement apporté par les deux résistances est trop important. La sommation par résistances est en effet passive et occasionne une perte de niveau d'autant plus importante que leur valeur est élevée.

Sepatoo – Ah, je me souviens ! Eh bien, prenons des résistances de 10 Ω chacune afin de minimiser l'atténuation.

Tentatoo – Ce n'est pas si simple, car si les valeurs de ces résistances sont trop faibles, nous pourrions avoir des problèmes de distorsion, liés à l'interaction entre les deux sources qui ne seraient pas assez isolées l'une de l'autre. Considérons donc dans l'immédiat que nous avons déjà notre signal somme contenant les informations audio gauche et droite, il nous faut maintenant élaborer notre signal différence…

Sepatoo – … que nous fabriquerons avec un soustracteur, pardi ! Et là, je sais que l'on peut utiliser un transistor ou un AOP. À moins que cette opération puisse elle aussi être réalisée uniquement avec des résistances ?

Tentatoo – Non, malheureusement. En électronique, l'addition de deux signaux analogiques est chose plus simple à réaliser que leur soustraction. Pour cette dernière, nous devons utiliser un transistor ou un AOP, comme vous le suggériez.

Sepatoo – Serait-ce trop vous demander de me rappeler comment on peut faire une soustraction de deux signaux BF avec un AOP ?

Tentatoo – Non, bien sûr ! Je préfère mille fois que vous me demandiez ce genre de chose, plutôt que de vous voir tourner autour d'idées peu précises. Voyez donc le schéma donné à la **figure 2.17** : il vous montre à la fois le principe de l'addition et de la soustraction (moitié droite du schéma). Et tant qu'à faire, la fonction de préaccentuation dont nous avons parlé auparavant a été intégrée (moitié gauche du schéma). Comme vous pouvez le constater, il n'y a rien de très complexe dans ce schéma, compte tenu de toutes les opérations effectuées.

Sepatoo – Rien de complexe, rien de complexe… Je m'imaginais tout de même un circuit plus simple. S'il faut en arriver là pour de simples addition et soustraction, cela ne présage rien de bon pour ce qui va suivre, j'en ai peur. N'existe-t-il donc aucun autre moyen de faire plus simple ?

Tentatoo – En électronique, on peut souvent faire très simple. Mais c'est souvent au détriment de la qualité, de la stabilité ou tout simplement de la facilité d'opérer certains réglages ou ajustements. Voyez-vous, dans le circuit présenté ci-avant, les deux AOP U1:A et U2:A qui font office de tampons d'entrée, auraient pu être supprimés. La fonction de préaccentuation qu'ils assuraient par la même occasion aurait pu être assurée par un réseau RC externe. Mais en ne les mettant pas, vous auriez peut-être des soucis en raccordant ce montage à une sortie audio dont l'impédance est un peu trop élevée. Ne cherchez donc pas les complications ou les pièges où il n'y en a pas, Sepatoo. Ce schéma est en réalité fort simple. Comme pour tout schéma, il suffit de le « décomposer » en fonctions de base, et tout s'éclaircit.

http://fribok.blogspot.com/

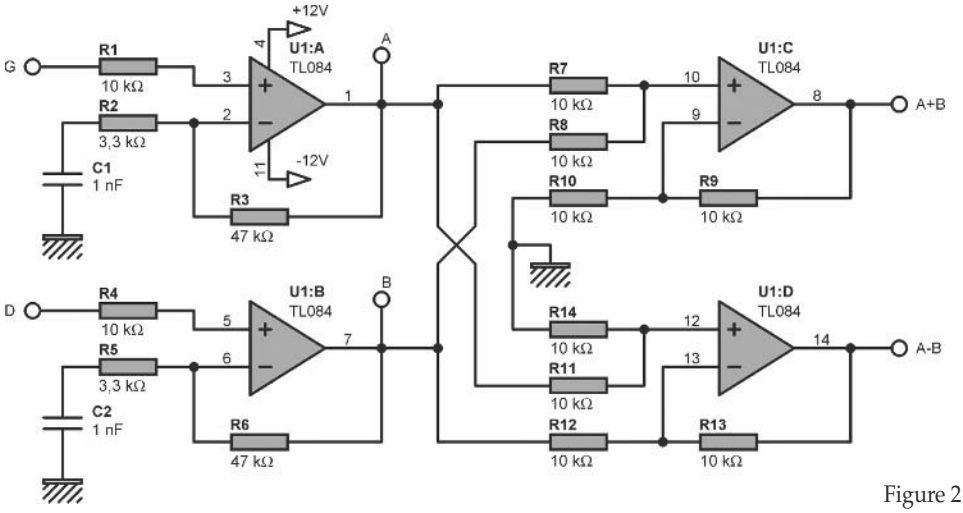


Figure 2.17

Sepatoo – Facile de dire cela quand on est habitué ! Je n'ai pas encore votre facilité de « décorticage », et je doute fort y arriver un jour !

Tentatoo – Si vous abordez tous les montages électroniques en pensant de cette façon, cela risque effectivement de vous demander un certain temps. Faites-moi confiance, et recherchez plutôt comment aborder un schéma petit bout par petit bout. Dans le montage donné à la **figure 2.17**, essayez d'abord d'isoler chaque AOP et de comprendre à quoi il sert. Allez-y, expliquez-moi.

Sepatoo – Je vois que vous avez finalement du temps à perdre. Eh bien soit, allons-y, vous l'aurez cherché. Le premier AOP U1:A est câblé de la même façon que l'AOP U1:B, tous deux sont montés en mode non inverseur, avec des valeurs de composants qui définissent la constante de temps de la courbe de préaccentuation. L'AOP U1:C est monté en sommateur, et l'AOP U1:D est monté en soustracteur. Mais… vous avez raison, c'est très simple ! Pouvez-vous me dire si les deux schémas suivants, que j'ai soustraits du schéma complet, correspondent bien aux fonctions d'addition (**figure 2.18**) et de soustraction (**figure 2.19**) ?

Tentatoo – Excellent, Sepatoo ! Ces deux schémas correspondent parfaitement aux deux fonctions évoquées. Êtes-vous conscient du temps que vous m'avez fait perdre ?

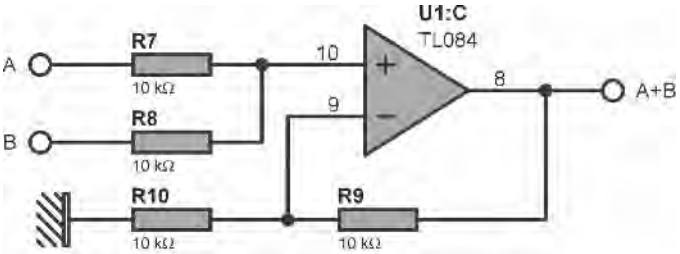


Figure 2.18

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

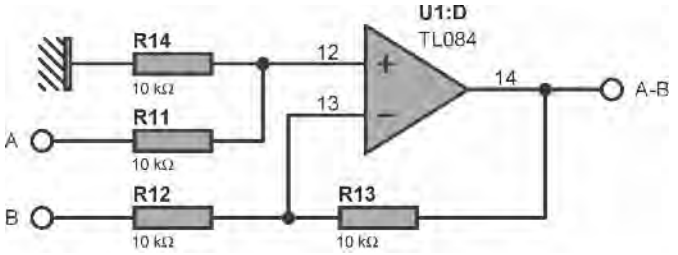


Figure 2.19

Sepatoo – Un coup de chance ! Je ne suis pas sûr de m'en sortir aussi bien la prochaine fois !

Tentatoo – Sepatoo…

Sepatoo – Oui ?

Tentatoo – …

Sepatoo – Je continue, c'est ça ?

Tentatoo – Oui, s'il vous plaît.

Sepatoo – Je constate que sur vos deux schémas, vous avez adopté les appellations A et B pour nommer les signaux des voies gauche et droite, et j'ai d'ailleurs réutilisé ces appellations dans mes schémas simplifiés. Cela fait-il partie d'une quelconque réglementation, et pouvez-vous m'assurer que je n'ai pas fait d'erreur ?

Tentatoo – Pas d'erreur, vous avez fait les bonnes correspondances. On trouve parfois de tout dans les documentations existantes, et je préfère que vous sachiez ce que peuvent signifier ces deux lettres dans un tel schéma, que l'on peut retrouver finalement assez souvent. La lettre A désigne bien la voie audio gauche et la lettre B désigne bien la voie audio droite, et en toute logique A+B désigne la somme de A et B (G+D), et A–B désigne leur différence (G–D). Sur ce point, vos deux schémas simplifiés sont très clairs. Par la suite, quand j'évoquerai les signaux A et B, je sous-entendrai que A est la version préaccentuée du signal audio gauche G, et que B est la version préaccentuée du signal audio droite D.

Sepatoo – Mon esprit n'est finalement pas tout à fait rouillé.

Tentatoo – Je ne l'ai jamais pensé, Sepatoo. Mais comme je sais que tout n'est pas toujours très facile à aborder d'un point de vue purement théorique, je vous propose de passer à un exemple pratique, en utilisant des signaux que nous connaissons bien. Nous allons ainsi regarder sur notre oscilloscope et sur notre analyseur de spectre, ce que les circuits d'addition et de soustraction permettent d'obtenir. Nous n'utiliserons pas la préaccentuation pour le moment, car cela pourrait rendre confus les résultats. Prenons donc un premier signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 2 V, et appliquons-le à l'entrée de la voie gauche G ; nous observerons ensuite ce signal au point A. Puis prenons un second signal sinusoïdal de fréquence 4 kHz et d'amplitude 1 V, et appliquons-le à l'entrée de la voie droite D ; nous observerons ensuite ce signal au point B. Analysons les écrans de l'oscilloscope, reportés sur les **figures 2.20** à **2.23**. Je vous laisse la parole.

http://fribok.blogspot.com/

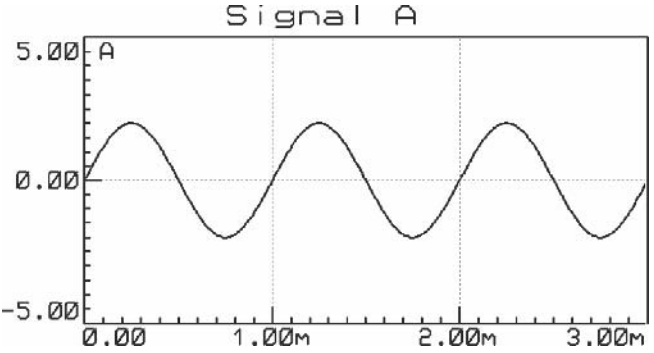


Figure 2.20.
Vue temporelle du signal modulant de la voie gauche (A).

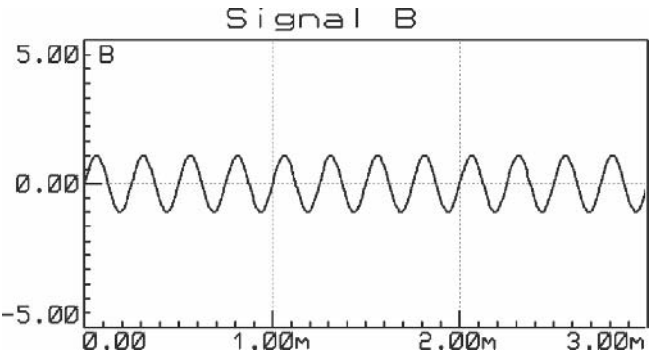


Figure 2.21.
Vue temporelle du signal modulant de la voie droite (B).

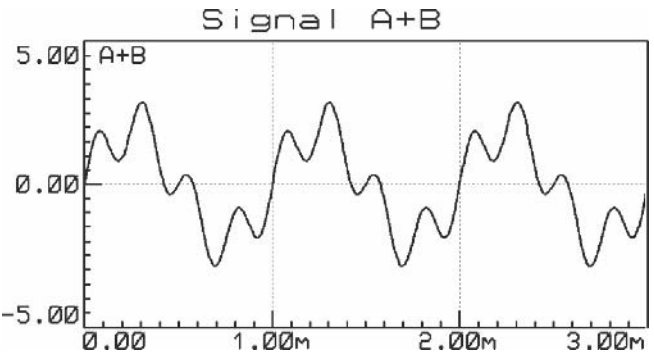


Figure 2.22.
Vue temporelle du signal issu de l'addition des voies gauche et droite (A+B).

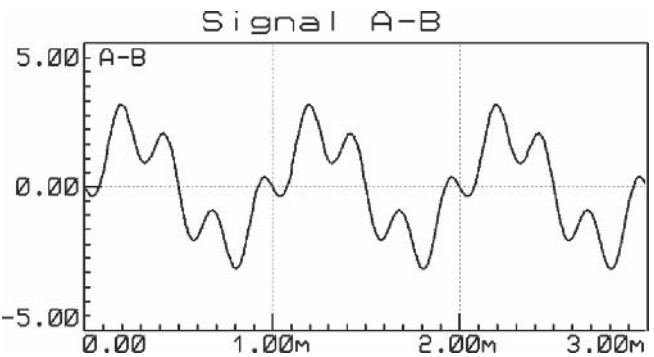


Figure 2.23.
Vue temporelle du signal issu de la soustraction des voies gauche et droite (A–B).

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – C'est fort aimable. Je ne vais pas faire de commentaire avancé sur les signaux A et B, on voit bien que les périodes du signal B sont quatre fois plus « serrées » dans le temps, puisque la fréquence de ce signal est quadruple de celle de A. Pour ce qui est des signaux A+B et A–B, je reste perplexe, car ils me semblent identiques en forme mais décalés et « retournés ».

Tentatoo – Pourquoi être perplexe ? Doutez-vous de l'affichage ?

Sepatoo – Oh non, mais je suis surpris, voilà tout. Je m'attendais à trouver une amplitude moins élevée pour le signal A–B.

Tentatoo – À cause du signe de soustraction ?

Sepatoo – Oui, peut-être. Et puis cette espèce de déphasage m'inquiète. Car j'ai bien peur que ce que je vois là varie en fonction de la fréquence des signaux A et B.

Tentatoo – Vous cherchez toujours les complications où il ne faut pas. Je vous assure que cela n'en vaut pas la peine. Vous avez là un montage qui fonctionne en basse fréquence, et il n'y a pas de condensateur ou de self dans le circuit qui puisse perturber au sens où vous l'entendez, le fonctionnement du montage. Pensez-vous vraiment que l'AOP à lui seul peut provoquer un tel « déphasage » à 4 kHz ? Et affirmeriez-vous qu'il s'agit bien là d'un déphasage ?

Sepatoo – Eh bien ma foi, vous avez sans doute raison, comme d'habitude. Je me rends donc à l'évidence, le signal A–B n'est finalement pas une représentation d'un phénomène surnaturel, mais une simple soustraction. Je m'incline.

Tentatoo – C'est mieux ainsi, car ce n'est vraiment pas plus compliqué que cela. Parlez-moi maintenant des représentations spectrales de nos signaux, reportés sur les **figures 2.24** à **2.27**.

Sepatoo – Rien de particulier à dire là non plus pour les deux signaux A et B ; on voit bien une raie pour chacune des deux fréquences de 1 kHz et de 4 kHz, et aucune autre raie puisqu'il s'agit de signaux sinusoïdaux purs. Par contre, pour les signaux A+B et A–B, je ne comprends pas : on observe la même chose pour la somme et pour la différence.

Tentatoo – Quelle raison pourriez-vous avancer pour expliquer ce comportement étrange ?

Sepatoo – Je ne sais pas, moi. Une erreur d'affichage ?

Tentatoo – Non, je peux vous certifier que ce que vous voyez est tout à fait juste. L'affichage sur l'oscilloscope laissait voir deux signaux presque identiques, et on constate que finalement, la composition spectrale de ces deux signaux est totalement identique. Cela est-il clair pour vous ?

Sepatoo – Certes oui ! Et finalement, rien de plus logique, puisque dans les deux cas, on a un mélange des deux signaux de même fréquence. Bien, nous avons donc nos deux fonctions de sommation et de soustraction, qui nous fournissent respectivement les deux composantes A+B et A–B dont nous avons besoin, composantes qu'il suffit maintenant de mélanger avant de les diffuser sur les ondes, c'est bien cela ?

Tentatoo – Pensez-vous un instant à ce qui se passerait si nous procédions sans autre forme de procès, à un mélange de ces deux composantes ?

http://fribok.blogspot.com/

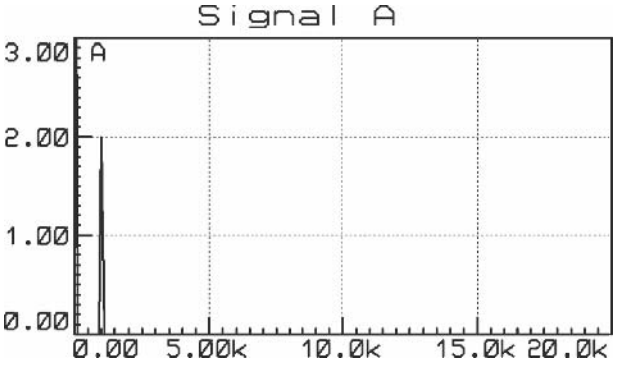


Figure 2.24.
Vue spectrale du signal modulant de la voie gauche (A).

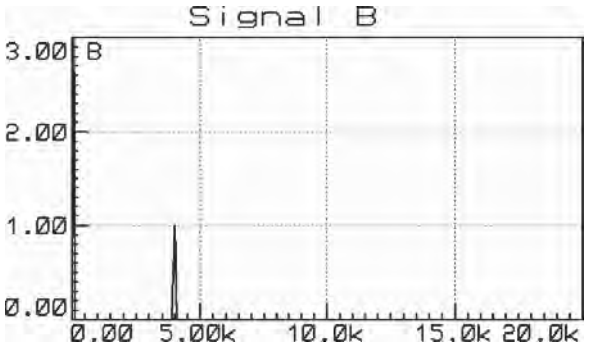


Figure 2.25.
Vue spectrale du signal modulant de la voie droite (B).

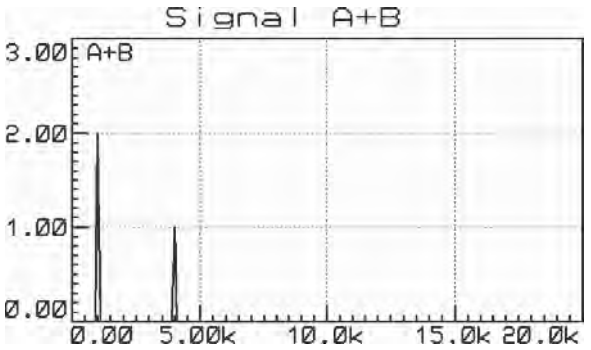


Figure 2.26.
Vue spectrale du signal issu de l'addition des voies gauche et droite (A+B).

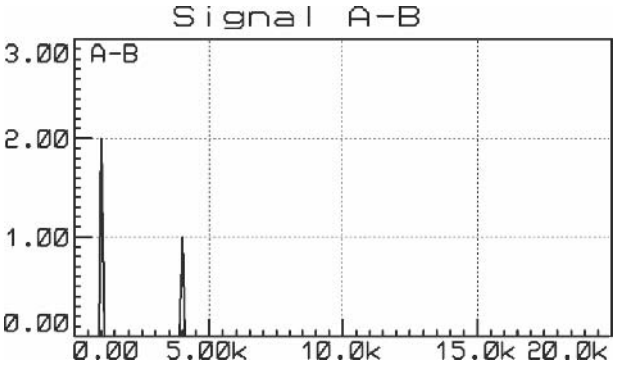


Figure 2.27.
Vue spectrale du signal issu de la soustraction des voies gauche et droite (A–B).

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Non, je ne vois pas. Pouvons-nous réaliser rapidement le montage afin de voir ce qui se passe ?

Tentatoo – J'aime quand vous prenez de telles initiatives, Sepatoo, cela me réconforte de vous voir ne pas rester passif. Allez-y, voici deux résistances de 10 kΩ pour effectuer la sommation, je vous laisse les câbler selon le schéma donné en **figure 2.28**.

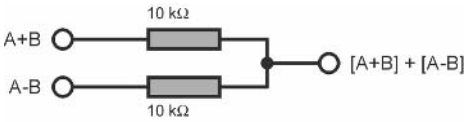


Figure 2.28

Sepatoo – Bien… Alors additionnons A+B avec A–B en utilisant l'additionneur de la **figure 2.28**, et voyons ce que montre l'oscilloscope en **figure 2.29**.

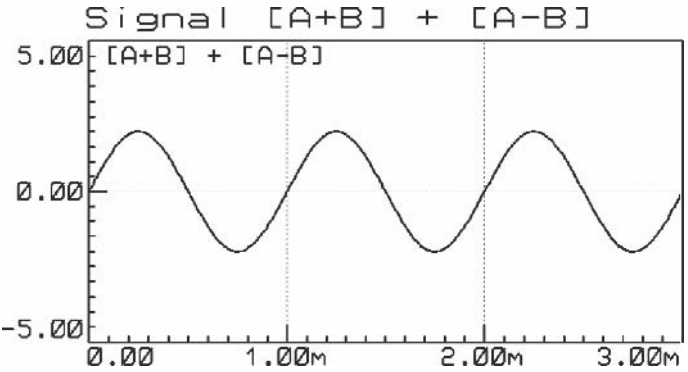


Figure 2.29

Sepatoo – Oh ! Le signal B de la voie droite a totalement disparu, et il ne reste que le signal A de la voie gauche ! À quelle diablerie devons-nous donc cela ?

Tentatoo – Je vous ai laissé faire la manip, Sepatoo, mais un simple petit calcul de tête aurait pu vous laisser présager cela : [A + B] + [A – B] = A + B + A – B = 2A. Ne tenez pas compte du coefficient 2 qui ne signifie pas grand-chose ici, l'important est bien de voir que le terme B a disparu. Si vous mélangez la somme et la différence des deux signaux d'entrée, vous en perdez la moitié. Ce qui finalement est moins bien qu'un signal mono, qui contient les informations sonores des deux voies !

Sepatoo – Vous avez raison, je suis allé un peu trop vite.

Tentatoo – Ce n'est pas grave, on avance plus vite en faisant des erreurs. Maintenant, dites-moi ce que l'on obtient pour A+B et pour A–B si on applique un unique et même signal en même temps sur les deux entrées gauche (A) et droite (B) ?

Sepatoo – Eh bien si A = B, on peut simplifier les termes A+B et A–B en remplaçant tous les B par des A, ce qui donne A + A = 2A et A – A = 0. Tiens, comme c'est curieux, la composante A–B disparaît, et seule la composante

http://fribok.blogspot.com/

A+B reste intacte ! Tout ce travail pour n'obtenir que ceci en sortie, ça vous décourage rait un éléphant !

Tentatoo – Tiens, je ne connaissais pas cette expression. Et pensez-vous que cette situation pourrait se produire dans votre future installation ?

Sepatoo – Bien sûr que non. Puisque je vais toujours appliquer un signal stéréo sur mes entrées audio G et D, les signaux des deux voies ne seront jamais identiques.

Tentatoo – Tiens donc ! Vous ne passerez donc jamais de vieux enregistrements mono, et vous ne parlerez jamais devant un microphone…

Sepatoo – Mais vous avez raison, je n'y avais pas pensé ! Ne serait-il pas possible alors d'ajouter à notre montage, un détecteur de signal mono qui désactive tout le travail de la stéréo quand il n'est pas nécessaire ? Parce que sinon, l'auditeur va penser qu'il écoute de la stéréo alors que je diffuse un signal en monophonie !

Tentatoo – Quelle imagination, Sepatoo ! Nous verrons plus loin comment le récepteur peut reconnaître une diffusion stéréo d'une diffusion mono. Mais pour l'instant, retenez qu'un signal stéréo peut très bien être composé de deux sources identiques et provenir d'une source mono. Dit autrement, une source mono peut être diffusée en stéréo, même si bien sûr l'auditeur entendra la même chose dans les deux haut-parleurs gauche et droite.

Sepatoo – Très bien, je m'en souviendrai. Mais je repense soudain à nos deux signaux A+B et A–B… Qu'allons-nous en faire ? Les transmettre sur deux fréquences différentes pour qu'ils ne se mélangent pas ?

Tentatoo – Qu'entendez-vous au juste par deux fréquences différentes ?

Sepatoo – Eh bien, comme nous travaillons dans la bande FM 88 MHz à 108 MHz, on pourrait très bien transmettre le terme A+B sur une fréquence de, disons, 101,2 MHz, et transmettre le terme A–B sur une fréquence de 101,3 MHz.

Tentatoo – En d'autres termes, vous voudriez que tous les récepteurs FM soient dotés de deux tuners au lieu d'un seul, et vous iriez annoncer à la moitié des directeurs de radio qu'ils doivent cesser d'émettre pour cause de manque de place dans la bande FM…

Sepatoo – Ah, je n'avais pas non plus pensé à cela. J'imagine donc qu'il faut trouver une autre solution que l'emploi de deux fréquences d'onde porteuse.

Tentatoo – Votre raisonnement se tient tout de même assez bien, Sepatoo, les deux signaux A+B et A–B vont être transmis séparément, d'un point de vue fréquentiel. Mais on ne va pas dire sur deux fréquences différentes, car cela pourrait porter à confusion. Nous en reparlerons plus longuement dès que nous aborderons notre discussion sur le MPX (multiplex). Mais juste avant cela, j'aimerai que vous me disiez comment les signaux BF des voies gauche et droite vont être séparés (récupérés) dans les récepteurs FM stéréo.

Sepatoo – Comment ces signaux vont être récupérés ? Mais je ne suis pas devin, et je n'en sais fichtre rien !

Tentatoo – Quand nous avons commencé à parler de sommation et de soustraction, vous sembliez pourtant assez à l'aise avec les formules.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Insinuez-vous que le récepteur FM n'utilise que des opérations similaires de sommation et de soustraction pour retrouver les deux signaux gauche et droit de notre programme stéréo ?

Tentatoo – Je n'insinue pas, j'affirme. Si l'on excepte la subtilité mise en œuvre pour transmettre le terme A–B, nous ne sommes qu'en présence d'opérations mathématiques de base.

Sepatoo – Si vous le dites, je veux bien vous croire. Le récepteur dispose donc d'un terme A+B et d'un terme A–B, peu importe pour le moment de savoir comment il les a obtenus. Et avec ces deux termes de somme et de différence, vous dites que l'on peut retrouver A et B de façon séparée.

Tentatoo – Tout à fait. Prenez donc une feuille et un crayon, et proposez-moi un schéma électronique simple, tels que les deux que vous m'avez soumis tout à l'heure pour vérification.

Sepatoo – Après quelques minutes d'intense et pénible réflexion, je vous propose deux schémas de principe en **figure 2.30**, et deux schémas pratiques : un schéma pour la partie *émission* en **figure 2.31**, et un autre pour la partie *réception* en **figure 2.32**. Je me suis contenté de reprendre les schémas d'additionneur et de soustracteur que nous avions déjà utilisés côté émetteur. Si j'additionne A+B avec A–B, j'obtiens 2A (A'), le terme B a disparu. Et si je soustrais A–B de A+B, j'obtiens 2B (B'), le terme A a disparu. Nous retrouvons donc nos deux signaux A (gauche) et B (droite) d'origine sur les points A' et B', totalement séparés l'un de l'autre. Cela vous convient-il ?

Tentatoo – Sepatoo, mon garçon, vous m'épatez. Pour être franc, je ne pensais pas que vous alliez trouver la solution aussi rapidement. Félicitations !

Sepatoo – Ce n'était pas bien compliqué, il faut le dire.

Tentatoo – Tout de même, c'est du beau travail. Je pense que vous êtes prêt pour aborder ce qu'il reste à voir du MPX.

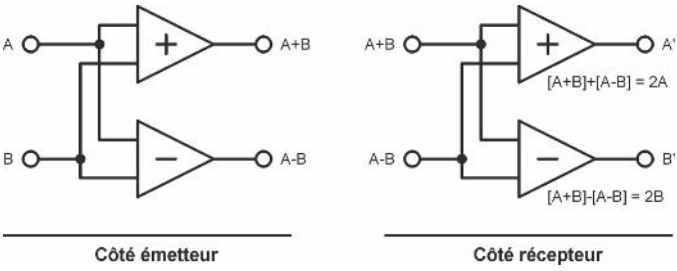


Figure 2.30

http://fribok.blogspot.com/

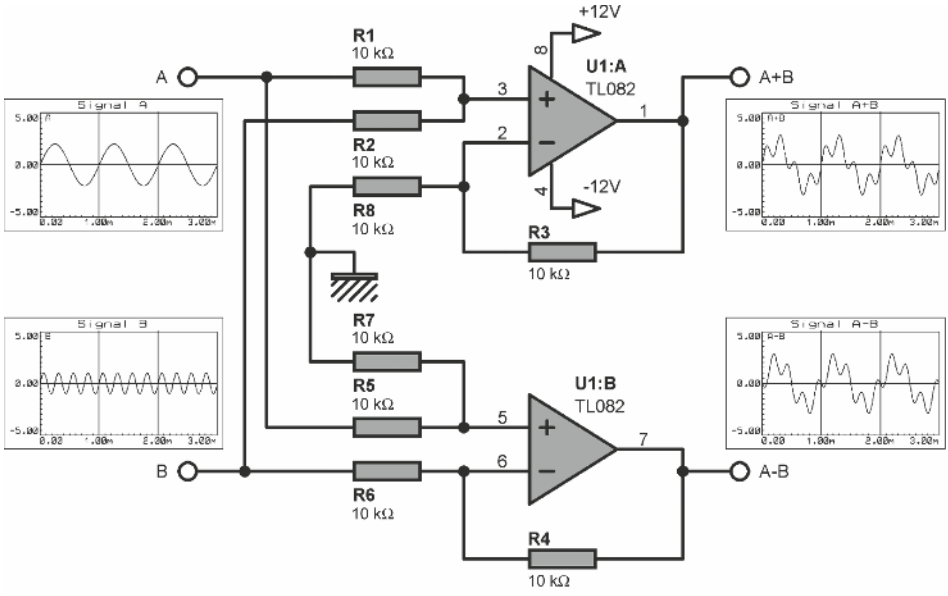


Figure 2.31

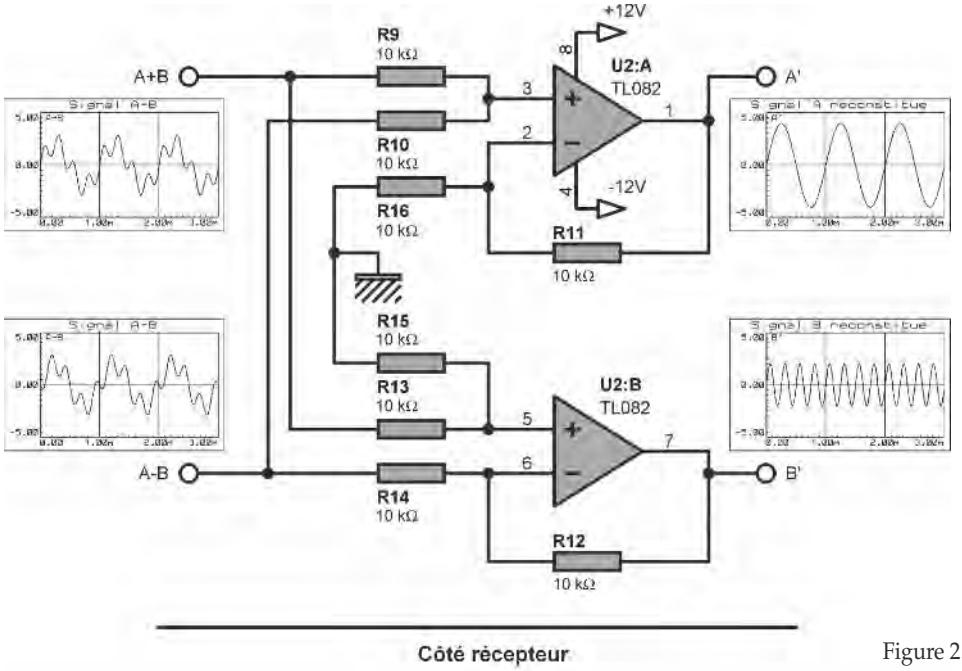


Figure 2.32

http://fribok.blogspot.com/

3 COMPOSITION DU SIGNAL MULTIPLEX (MPX)

Sepatoo – Le MPX ! Je me souviens très bien que le revendeur de matériel audio que j'ai vu hier soir m'en a parlé. Mais comme je ne savais pas du tout de quoi il s'agissait, j'ai pensé que sa langue avait fourché. Le MPX existe donc bien.

Tentatoo – Ca, pour exister, il existe. Plutôt que de vous faire un grand discours, voici en **figure 3.1** une représentation spectrale d'un signal multiplex. Pour rester cohérent avec ce que nous avons vu précédemment, nous continuerons de travailler avec nos deux mêmes sources sinusoïdales de 1 kHz et de 4 kHz. Je serai heureux de recueillir vos commentaires au sujet de ce que vous voyez sur ce spectre.

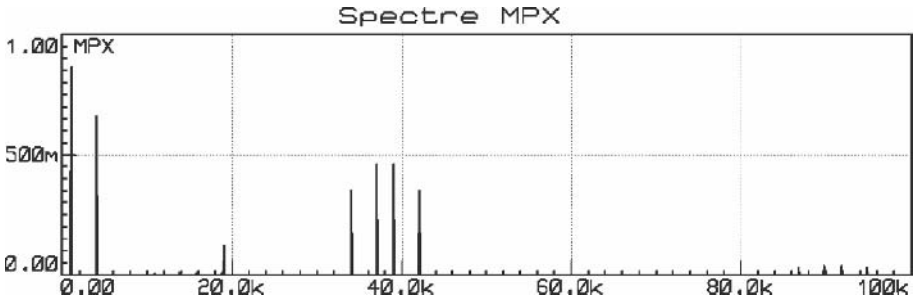


Figure 3.1. **Exemple de spectre MPX avec des signaux audio fixes.**

Sepatoo – Eh bien, je vois un spectre en fréquence bien chargé en raies. On retrouve les raies des sinusoïdes à 1 kHz et à 4 kHz, ce qui me semble normal puisque l'on travaille avec les mêmes sources audio que tout à l'heure. Je vois aussi une petite raie à 19 kHz, puis d'autres raies à 34 kHz, à 37 kHz, à 39 kHz et à 42 kHz. Je me demande bien ce que ces quatre dernières viennent faire là.

Tentatoo – Quand je vous demandais de faire des commentaires, je parlais de commentaires techniques.

Sepatoo – J'avoue être un peu perdu. Dans la partie basse du spectre, on retrouve semble-t-il la somme A+B, mais je ne vois pas de trace de la différence A–B. Quoique je dis une bêtise, puisque spectralement parlant, on doit trouver la même chose pour A+B et A–B. Toujours est-il que j'attends quelques explications.

http://fribok.blogspot.com/

3.1 Signaux M (A+B) et S (A–B)

Tentatoo – Il est vrai que je suis un peu dur avec vous, il n'est pas si évident de retrouver ses petits dans un tel capharnaüm. Comme vous l'avez bien compris, le signal somme A+B n'a pas été touché, et on le retrouve dans la partie basse du spectre, précisément entre 40 Hz et 15 kHz. Nous appelons M ce signal A+B non modifié. Si nous avions décidé de diffuser notre programme audio en mode monophonique, cette composante M aurait été suffisante, et l'occupation spectrale de notre signal serait conforme à celle de la **figure 3.2**.

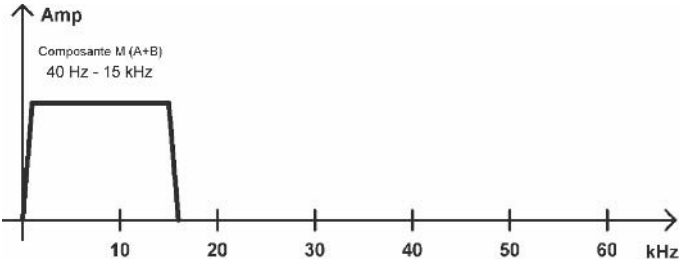


Figure 3.2. **Occupation spectrale du signal MPX en mode diffusion mono.**

Sepatoo – Cette figure m'intrigue. Tout à l'heure, nous avons vu que le spectre MPX était composé de plusieurs raies, et maintenant, on voit une espèce de rectangle.

Tentatoo – Ce que vous appelez rectangle n'est qu'une sorte de gabarit, permettant de délimiter une zone où l'on peut trouver notre signal BF. Il ne s'agit pas de la représentation d'un signal à proprement parler.

Sepatoo – Je comprends mieux. Il s'agit donc de la zone où tout à l'heure nous observions les deux raies à 1 kHz et à 4 kHz. Mais où donc est la zone où doivent apparaître les autres raies de 19 kHz et celles situées plus haut dans le spectre ?

Tentatoo – Nulle part, car ces raies n'existent pas dans le mode de diffusion mono. Rien ne dépasse la limite supérieure de 15 kHz, toute la place qui se trouve au-delà de cette limite n'est pas utilisée. Par contre, en mode de diffusion stéréo, l'occupation spectrale est tout autre, comme vous pouvez le constater sur la **figure 3.3**.

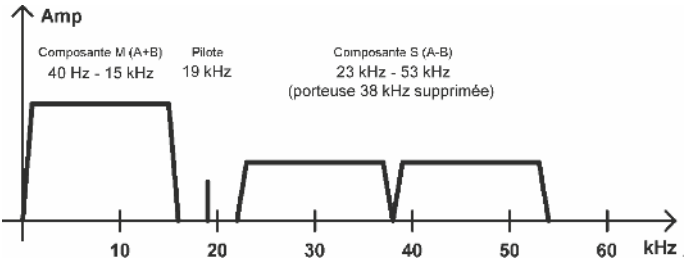


Figure 3.3. **Occupation spectrale du signal MPX en mode diffusion stéréo.**

Tentatoo – Nous retrouvons notre composante M (A+B), à laquelle ont été rajoutées deux autres composantes : la composante S (A–B) et un signal fixe

http://fribok.blogspot.com/

de 19 kHz. Le signal différence A–B est passé dans une moulinette pour lui permettre d'être transmis en même temps que le signal somme A+B sans risquer une quelconque collision ou perte d'un des deux signaux audio d'origine A ou B. Nous appelons S ce signal A–B modifié.

Sepatoo – Qu'entendez-vous précisément par moulinette et signal A–B modifié ?

Tentatoo – Il est temps d'appeler un chat par son nom, c'est-à-dire un chat. Nous procédons ici à une *modulation d'amplitude à porteuse supprimée* (MAPS). Cette modulation d'amplitude consiste à faire varier l'amplitude, autrement dit le niveau électrique, d'une onde porteuse dont la fréquence est de 38 kHz précisément, au rythme des variations d'amplitude du signal A–B.

Sepatoo – De la modulation d'amplitude ? Mais je croyais que l'on travaillait en modulation de fréquence.

Tentatoo – Nous n'en sommes pas encore au niveau du modulateur FM, qui lui travaille effectivement en modulation de fréquence. Pour le moment, nous sommes encore en bande de base, dans le domaine de ce que l'on appelle toujours les basses fréquences, même si une partie du spectre en question dépasse le seuil d'audition de l'oreille humaine. On peut dire que le signal différence A–B a été transporté d'un endroit à un autre sur le plan fréquentiel, dans une zone où il n'y avait rien d'autre auparavant, en l'occurrence dans la zone centrée sur 38 kHz. Ce signal S (signal A–B transposé) n'interfère pas avec le signal M (A+B non modifié) qui lui est resté dans la plage de fréquences de 40 Hz à 15 kHz. Nous avons donc ce que nous voulions : la possibilité de transmettre simultanément deux informations différentes qui ne se mélangent pas entre elles. Cette façon de procéder est appelée *multiplexage fréquentiel*.

Sepatoo – Je veux bien croire tout ce que vous me dites là, car cela n'irrite pas trop mes oreilles. Je me souviens de votre leçon sur la modulation d'amplitude, mais ne me rappelle pas avoir entendu parler de modulation avec porteuse supprimée.

Tentatoo – Avant de vous parler plus précisément de la modulation d'amplitude à porteuse supprimée, je dois préciser que le résultat que l'on souhaite obtenir, c'est-à-dire la transposition de notre signal A–B sur la fréquence centrale de 38 kHz, peut être obtenu par deux méthodes différentes, et que l'on peut choisir celle que l'on veut car toutes deux sont autorisées et définies selon les normes FCC. Première méthode : grâce à des interrupteurs électroniques commandés, on laisse passer alternativement les signaux audio des voies gauche et droite, à la fréquence de 38 kHz (**figure 3.4**).

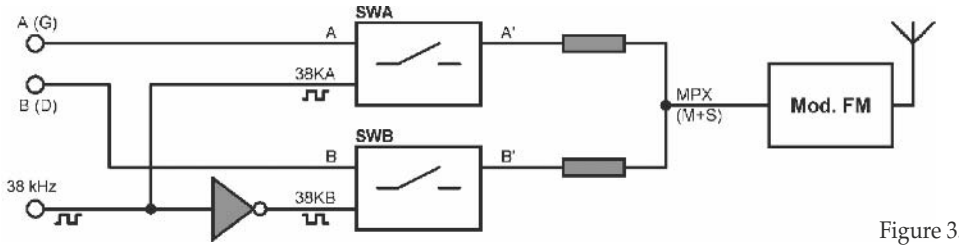


Figure 3.4

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Un coup c'est le signal audio de la voie gauche qui passe (signal 38KA actif – interrupteur SWA fermé – et signal 38KB inactif – SWB ouvert), un coup c'est le signal audio de la voie droite qui passe (signal 38KA inactif – interrupteur SWA ouvert – et signal 38KB actif – SWB fermé). Puis à nouveau on laisse passer le signal audio gauche, puis le signal audio droit, etc., toujours à tour de rôle. On retrouve donc au point de sommation MPX (après les interrupteurs), des « tranches » audio de la voie gauche, alternées (imbriquées) avec des « tranches » audio de la voie droite. Comme vous l'aurez sans doute remarqué, les opérations mathématiques A+B et A–B ne sont pas implémentées dans cette méthode, tout du moins de manière visible et évidente avec des AOP.

Sepatoo – Tout le travail accompli précédemment pour obtenir nos signaux A+B et A–B n'aura donc servi à rien.

Tentatoo – Non, vous verrez par la suite que ce travail n'aura pas servi à rien.

Sepatoo – Mais tout de même, j'imagine que l'addition doit bien avoir lieu quelque part ailleurs, car je conçois mal que l'on puisse ainsi se séparer du seul signal M que pourrait recevoir un récepteur mono.

Tentatoo – Vous avez tout à fait raison, l'addition A+B se fait ailleurs. Toute l'astuce réside justement dans ce type de circuit : la découpe alternée des deux signaux A et B produit deux composantes, qui sont précisément la somme A+B, et la différence A–B centrée sur la fréquence de commutation. Avec ce circuit, nous retrouvons donc nos deux composantes M et S. Cela est démontrable avec des formules mathématiques, nous pourrons en parler autour d'un bon repas si vous le souhaitez.

Sepatoo – J'espère que cela est une plaisanterie.

Tentatoo – Je vous taquinais. Voyons maintenant la seconde méthode, où l'on se sert de l'amplitude du signal A–B pour moduler l'amplitude d'un signal sinusoïdal fixe (porteuse) de 38 kHz (**figure 3.5**). Cette méthode devrait vous plaire, puisque l'on fait un usage évident et « noble » de notre signal A–B. Pouvez-vous m'indiquer la différence principale entre les deux méthodes ?

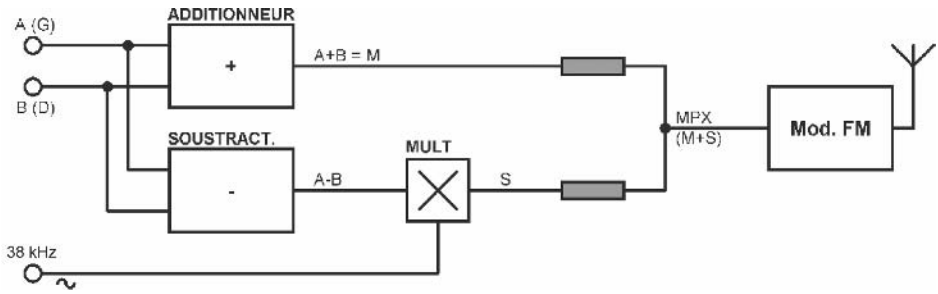


Figure 3.5

Sepatoo – Outre le fait que l'on obtient nos deux composantes M et S de façon différente et plus « visible », la principale nuance que je vois concerne la nature des signaux 38 kHz. Dans la première méthode, nous utilisons des signaux 38 kHz numériques pour commander les interrupteurs analogiques commandés. Le signal 38KA qui commande l'interrupteur SWA est en oppo-

http://fribok.blogspot.com/

sition de phase (inversé) par rapport au signal 38KB qui commande l'interrupteur SWB, de telle sorte qu'un seul interrupteur est activé à un instant donné. Dans la deuxième méthode, nous utilisons non pas deux signaux 38 kHz en opposition de phase, mais un seul signal 38 kHz sinusoïdal dont l'amplitude en sortie du multiplicateur MULT dépend de l'amplitude du signal A–B.

Tentatoo – Félicitations, voilà un excellent résumé. Laissez-moi maintenant vous montrer en **figure 3.6** un exemple pratique de mise en œuvre de la première méthode, avec découpage alterné des deux voies audio, et en **figure 3.7** (page suivante) l'allure des signaux correspondant à ce découpage. Pour les trois dernières courbes (signaux A', B' et S), l'échelle horizontale est dilatée afin de mieux percevoir le découpage à la fréquence de 38 kHz.

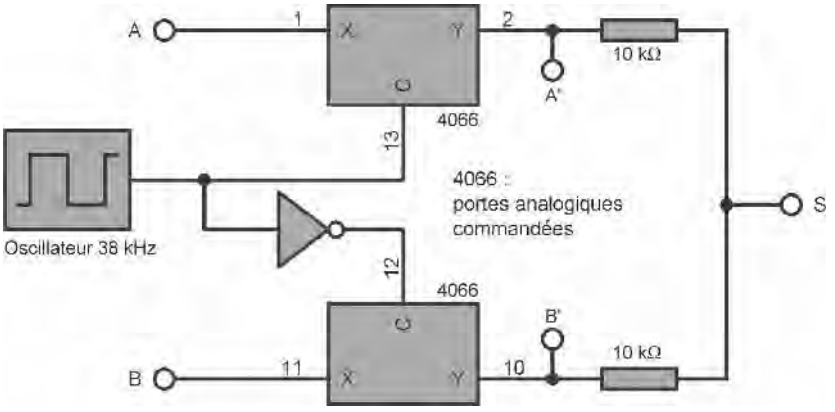


Figure 3.6

Sepatoo – Je constate bien que le signal A' est notre signal A que l'on laisse passer la moitié du temps, et que le signal B' est notre signal B que l'on laisse passer l'autre moitié du temps. Et que finalement le signal S n'est rien d'autre que le regroupement des deux signaux découpés à tour de rôle. Tout cela est vraiment très simple ! Ainsi, ces seuls composants permettent de constituer notre signal S ?

Tentatoo – On retrouve bien là notre signal S, mais pas encore tout à fait exploitable tel quel. Si on l'observait avec un analyseur de spectre, on verrait quelque chose comme ce qui est représenté en **figure 3.8**.

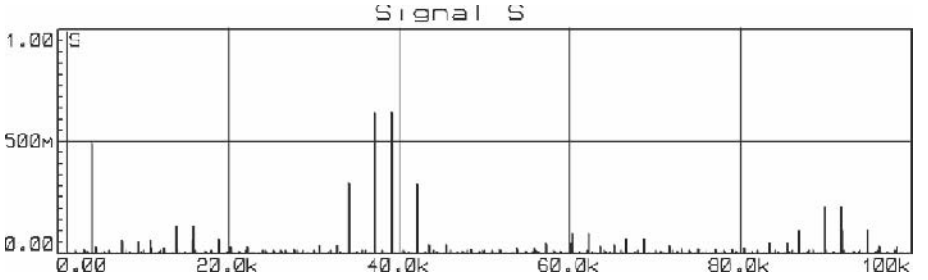


Figure 3.8

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

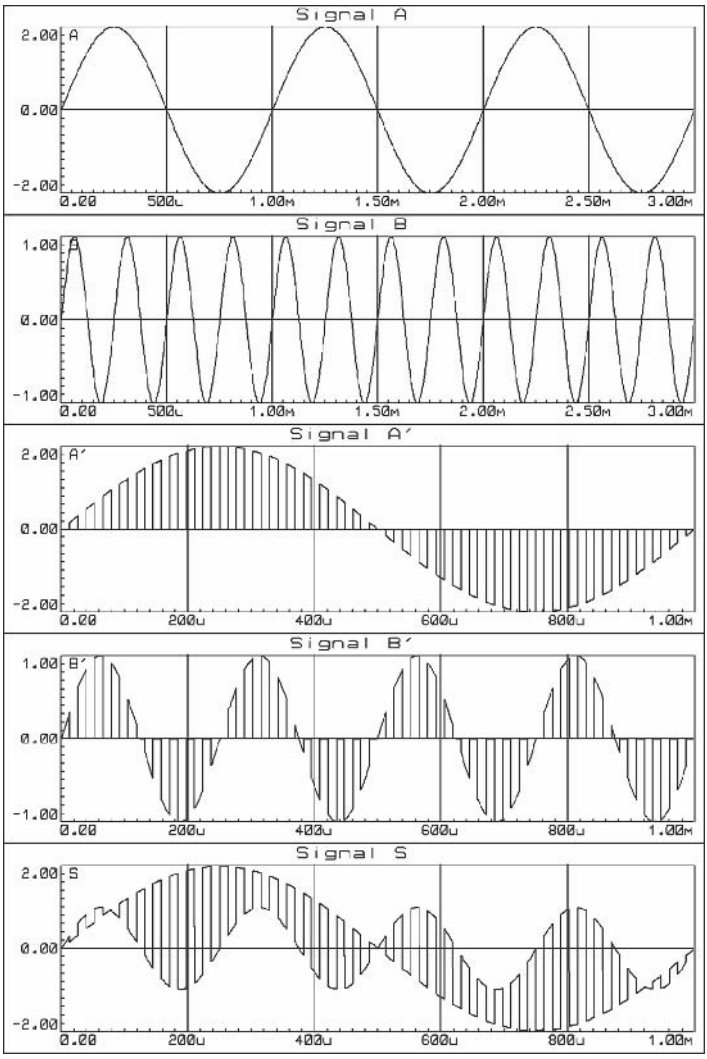


Figure 3.7

Tentatoo – Visiblement, le signal S à ce point a besoin d'être « nettoyé » un peu, et pour cela il doit passer dans un filtre passe-bas qui atténue suffisamment tout signal qui se trouve au-delà de 53 kHz (38 kHz + 15 kHz). Hormis cela, je suis tout à fait d'accord avec vous, le procédé est vraiment très simple. Observez maintenant en **figure 3.10** les formes temporelle et spectrale du signal S', sachant que le signal S' correspond à notre signal S passé au travers d'une simple cellule de filtrage RC (R = 10K et C = 120p, **figure 3.9**). Les bords tranchants des signaux découpés en lamelles ont été arrondis (courbe du haut), ce qui résulte en un spectre (courbe du bas) plus propre.

Sepatoo – Tout cela est tellement simple que je suis presque sûr que ce n'est pas cette façon de procéder que nous retiendrons.

http://fribok.blogspot.com/

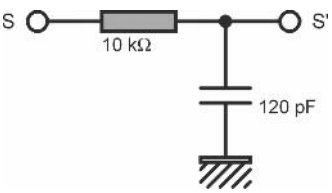


Figure 3.9

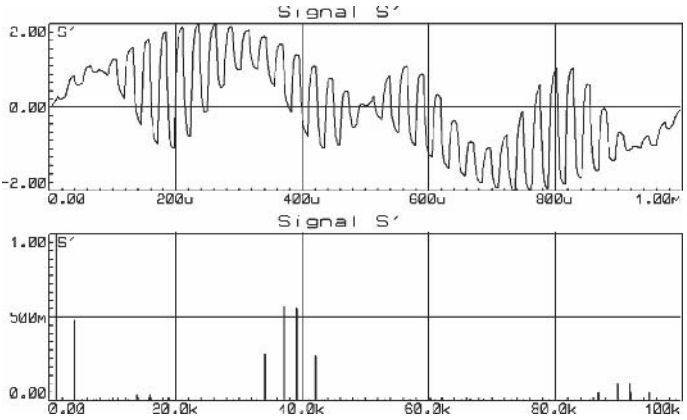


Figure 3.10

Tentatoo – Vous avez raison, même si le filtre passe-bas à utiliser pour le « nettoyage » doit être en pratique plus consistant. Mais cela ne devrait vous poser aucun problème pour élaborer un schéma à partir de ces informations, puisque vous avez dit vous-même avoir trouvé ce procédé très simple.

Sepatoo – Tout de même, je ne sais pas si un peu d'aide de votre part…

Tentatoo – Rassurez-vous, je vous proposerai plus tard un schéma tout cuit et directement exploitable. Mais pour le moment, bavardons un peu sur la modulation d'amplitude à porteuse supprimée, qui est la méthode que nous allons employer pour notre codeur stéréo, dont je vous soumets dès maintenant le schéma (**figure 3.11**).

Sepatoo – Bien sûr, vous n'avez pas plus simple à me proposer pour faire la même chose.

Tentatoo – Bien sûr que si. Le synoptique du codeur stéréo, que voici en **figure 3.12**.

Sepatoo – Très amusant.

Tentatoo – Mais je ne me moque pas ! Ce synoptique n'est là que pour vous aider à retrouver les diverses fonctions du montage.

Sepatoo – Si vous le dites.

Tentatoo – Allons, regardez bien ce synoptique, et énumérez-moi simplement les composants principaux du schéma complet qui remplissent les fonctions indiquées.

Sepatoo – C'est bien parce que c'est vous. La préaccentuation 50 us des deux voies gauche et droite est assurée par les deux AOP U1:A et U1:B, la sommation est assurée par U1:C, alors que U1:D s'occupe de la soustrac-

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

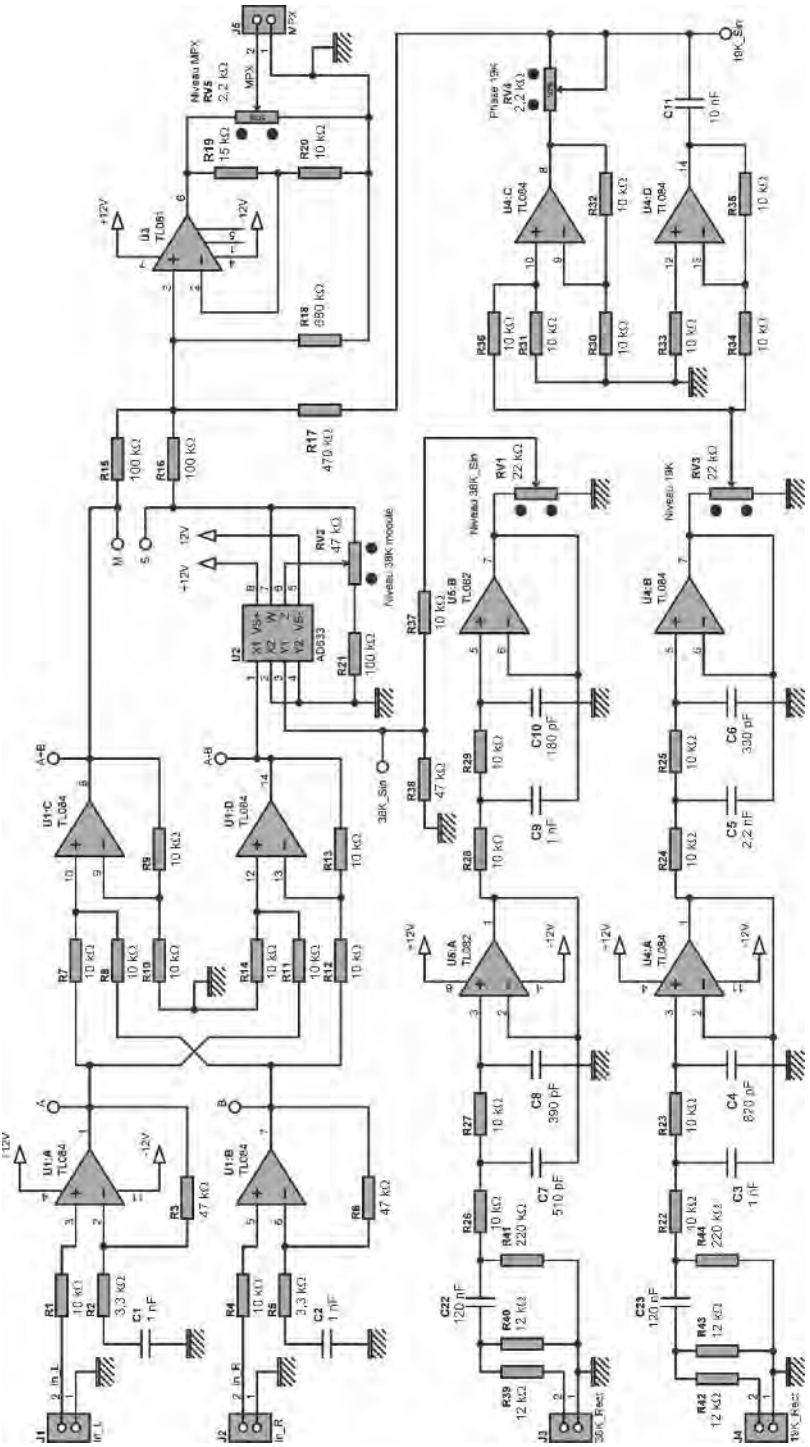


Figure 3.11

http://fribok.blogspot.com/

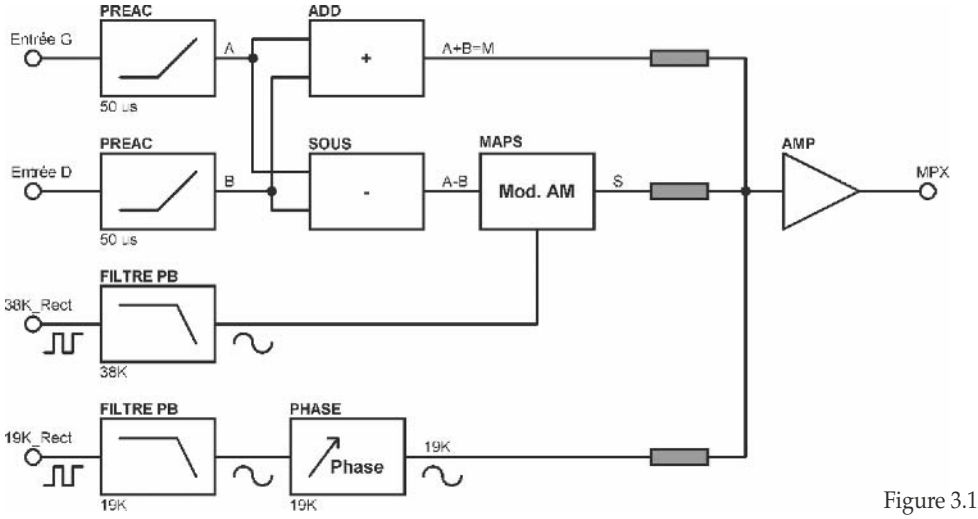


Figure 3.12

tion. Nous avions déjà parlé de ces fonctions, aussi n'est-il pas difficile de les reconnaître. La section que vous appelez MAPS doit très certainement être confiée au circuit intégré U2 AD633, puisque ce dernier reçoit d'une part la composante A–B, et d'autre part un signal sinus 38 kHz – c'est tout du moins ce que me suggère le nom 38K_Sin – qui serait obtenu par filtrage passe-bas d'un signal 38 kHz rectangulaire. Et puis comme on retrouve un signal appelé S sur la sortie 7 de U2, je ne pense pas me tromper. Le filtre passe-bas 38 kHz semble construit autour des AOP U5:A et U5:B, alors que le filtre passe-bas 19 kHz semble s'appuyer sur les AOP U4:A et U4:B. Je ne reconnais pas le circuit basé sur U4:C et U4:D, mais je ne serais pas surpris d'apprendre qu'il s'agit de la fonction appelée *phase* sur le synoptique, qui se trouve sur le trajet du signal 19K.

Tentatoo – Excellent ! Encore une fois toutes mes félicitations. Le circuit de réglage de la phase du 19 kHz est certes un peu curieux, et nous parlerons de son rôle un peu plus tard. Pour ce qui est des signaux 19 kHz et 38 kHz, je n'en dis pas plus car là aussi nous aurons l'occasion d'en parler très bientôt en détail.

Sepatoo – Je reconnais que le schéma du codeur stéréo me semblait complexe au premier abord, mais finalement, seules les fonctions MAPS et Phase 19K me sont encore inconnues à cette heure.

Tentatoo – Eh bien je vous propose de commencer avec la MAPS. Le procédé utilisé ici, qui s'appuie sur l'utilisation du AD633, consiste à « multiplier » un signal de fréquence fixe (une onde porteuse de 38 kHz dans notre cas), avec le signal modulant (le signal audio dans notre cas). Le résultat correspond à la création de deux bandes latérales symétriques et à égale distance du signal 38 kHz : une bande latérale inférieure située en dessous de 38 kHz, et une bande latérale supérieure située au-dessus de 38 kHz. Ce que nous montraient déjà quelques spectres en fréquence vus précédemment (**figures 3.3**, **3.8** et **3.10**). La multiplication est effectuée par ce qu'on appelle un

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

mélangeur symétrique, élément non linéaire qui provoque la création de deux nouvelles fréquences qui sont tout simplement la somme et la différence des deux fréquences « multipliées ». En absence de signal modulant (signal A–B d'amplitude nulle), rien ne ressort du multiplicateur intégré dans le AD633. Tout du moins en théorie.

Sepatoo – Somme et différence ? Vous voulez dire que si on applique deux signaux de 38 kHz et de 1 kHz au multiplicateur, il va sortir deux nouveaux signaux de 37 kHz et de 39 kHz ? Et que si on lui applique deux signaux de 38 kHz et de 4 kHz, il va sortir deux nouveaux signaux de 34 kHz et de 42 kHz ?

Tentatoo – J'ai l'intime conviction que vous avez compris certaines choses, sinon vous n'auriez sans doute pas choisi ces fréquences comme exemple. Ou alors, pur hasard ?

Sepatoo – Tout à fait compris, je n'en suis pas encore totalement sûr. Mais si ce à quoi je pense est juste, cela explique la présence des raies observées sur l'écran représentant le spectre MPX. Tout du moins pour les raies situées autour de 38 kHz, parce qu'en ce qui concerne la raie à 19 kHz, je ne vois toujours pas à quoi elle peut servir, même si elle semble avoir un rapport évident avec le signal 19 kHz mentionné sur le synoptique.

Tentatoo – Pour ce qui est des raies situées autour de 38 kHz, vous avez raison. La présence de la raie à 19 kHz est quant à elle due à l'ajout d'un signal sinusoïdal appelé pilote 19 kHz. La démodulation de la composante S (qui porte le signal A–B) dans le récepteur FM se fait grâce à une détection synchrone. Ce type de détection impose la présence de la porteuse 38 kHz qui sert de support au signal A–B. Comme cette porteuse a été supprimée côté émetteur, il faut impérativement la reconstituer dans le récepteur, d'une manière ou d'une autre. Et c'est là qu'interviendra le pilote 19 kHz, nous en parlerons plus tard. C'est donc cet ensemble de composantes spectrales M, S et pilote 19 kHz, qui composent le signal multiplex (ou MPX) qui sera appliqué à l'entrée du modulateur FM. Vous voyez, nous ne sommes pas loin du but.

Sepatoo – Je comprends bien maintenant que le signal différence A–B a été transposé vers une plage de fréquences centrée sur 38 kHz, mais il occupe deux fois plus de place, si je ne m'abuse…

Tentatoo – Très bonne remarque ! Cela est lié au fait que la modulation d'amplitude occasionne l'apparition de deux bandes latérales, situées de part et d'autre de la fréquence porteuse de 38 kHz. J'ai oublié de préciser que cette porteuse 38 kHz est supprimée car elle ne porte aucune information vraiment utile, et que c'est toujours ça de moins d'énergie à transmettre, énergie que l'on peut alors attribuer aux signaux vraiment utiles. Je dois reconnaître que vous avez vite compris. Et en plus, vous avez vous-même appliqué les formules mathématiques que vous redoutiez tant.

Sepatoo – Je suis doué, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Vous êtes surtout toujours aussi modeste. Maintenant, dites-moi ce qui se passe si l'on applique à l'entrée de notre émetteur, un signal audio dont la fréquence est de 18 kHz sur la voie gauche et de 19 kHz sur la voie droite ?

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Mais ces fréquences seront filtrées par le filtre passe-bas 15 kHz !

Tentatoo – Supposons un petit instant que le filtre n'est pas assez bon, et qu'une partie de ces signaux, d'amplitude très élevée, arrive à passer dans le codeur stéréo.

Sepatoo – Eh bien, dans la partie basse du spectre, nous allons trouver un signal qui va entrer en collision avec le pilote 19 kHz, qui pour le moment est toujours aussi mystérieux pour moi.

Tentatoo – Nous allons bientôt y venir, soyez rassuré. Et un peu plus haut dans le spectre, que va-t-il se passer ?

Sepatoo – Nous allons retrouver quatre signaux ayant pour fréquence les valeurs 19 kHz (38 – 19), 20 kHz (38 – 18), 56 kHz (38 + 18) et 57 kHz (38 + 19). Le signal de 19 kHz va être gênant car il télescope aussi le pilote 19 kHz, mais le second signal de 57 kHz ne gêne personne puisqu'il n'y a rien d'autre à la fréquence de 57 kHz.

Tentatoo – Et si je vous disais qu'il peut y avoir quelque chose à 57 kHz, que répondriez-vous ?

Sepatoo – Je répondrais que vous êtes un sacré farceur.

Tentatoo – Mais je suis parfaitement sérieux. Avez-vous déjà entendu parler de RDS ?

Sepatoo – Oui, bien sûr, mon autoradio est équipé du RDS, c'est grâce à lui que le nom des stations radio est affiché.

Tentatoo – Eh bien, le RDS, qui signifie *Radio Data System* (système de données radio), est composé de données numériques qui modulent une porteuse justement située à 57 kHz, c'est-à-dire juste à côté de notre zone de fréquence centrée sur la porteuse 38 kHz qui est modulée par le signal différence A–B.

Sepatoo – Quel curieux hasard ! Je soupçonne que dans ce cas, certains problèmes peuvent se poser si des débordements de fréquence ont lieu.

Tentatoo – Je ne vais pas vous contredire sur ce point. C'est la raison pour laquelle il est vraiment important d'avoir un minimum de débordements, comme vous dites, et que le filtrage 15 kHz effectué au tout début soit réellement efficace.

Sepatoo – Et que se passe-t-il quand les débordements sont trop importants ?

Tentatoo – La qualité sonore du programme audio reçu se dégrade. On peut même recevoir le signal en mono au lieu de le recevoir en stéréo.

Sepatoo – Ce que personne ne souhaite, évidemment. Mais j'y songe… les fréquences 38 kHz et 57 kHz sont des multiples entiers de la fréquence 19 kHz, non ?

Tentatoo – On ne peut rien vous cacher. Nouvelle bonne remarque, je vous félicite.

Sepatoo – Mais tout cela reste toujours aussi mystérieux pour moi. Et j'ai comme le terrible pressentiment qu'il va me tomber dessus une foule de formules mathématiques liées à ce fameux pilote 19 kHz.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

3.2 Pilote 19 kHz

Tentatoo – Quelle drôle d'idée que voilà. Vous ai-je harcelé de formules mathématiques depuis le début de nos discussions ?

Sepatoo – Non, et c'est bien cela qui m'inquiète.

Tentatoo – Je suis désolé de vous contredire, mon cher ami, mais les formules ne sont pas encore pour maintenant. Et j'espère de tout cœur que cette annonce ne va pas vous faire faire les pires cauchemars la nuit prochaine.

Sepatoo – Je l'espère aussi ! Mais dites-moi, pourquoi transmettre un signal supplémentaire, quand on sait que la place sur les ondes est comptée ?

Tentatoo – Vous donnez la réponse vous-même : parce qu'on ne peut pas faire autrement. Si on avait pu se passer de cette fréquence pilote, imaginez bien que l'on s'en serait volontiers passé. Sachant cela, vous devriez peut-être même comprendre à quoi elle peut servir.

Sepatoo – J'ai pensé pendant un moment que le pilote 19 kHz pouvait servir à quelque chose dans le récepteur, pour reconstituer la différence A–B. Mais cela est impossible, puisque la valeur de 19 kHz est trop différente de la valeur 38 kHz qui nous manque.

Tentatoo – Vous étiez pourtant parti dans la bonne direction, et je vous invite à continuer dans cette voie. Il est impératif de récupérer notre signal différence A–B à la réception, sinon nous ne pourrons jamais reconstituer nos deux voies audio gauche et droite.

Sepatoo – Mais nous avons besoin d'un signal à 38 kHz, et non d'un signal à 19 kHz. Je ne vois vraiment pas comment nous en sortir avec cette fréquence pilote trop basse. Il faudrait pour bien faire, la multiplier par deux. Et sauf erreur de ma part, on peut facilement diviser un signal périodique, mais on ne peut pas le multiplier. Ou alors si on peut le faire, je n'en ai jamais entendu parler.

Tentatoo – N'avez-vous jamais entendu parler d'un redressement double alternance dans une alimentation secteur linéaire ? C'est un cas typique d'une multiplication de fréquence par deux, où le signal issu du secondaire d'un transformateur, de même fréquence que celle du secteur 50 Hz, devient un signal de 100 Hz après être passé par les diodes de redressement ? Ceci juste pour vous dire que la multiplication de fréquence n'est pas impossible et qu'elle peut même être très simple, même si ce n'est pas forcément ce procédé qui est utilisé dans le cas qui nous intéresse. Je vais vous aider un peu, car il est vrai que le principe adopté n'est pas si évident à comprendre à première vue. Résumons la situation. Nous avons en sortie du tuner de notre récepteur FM, un signal M qui contient l'information A+B, et un signal S qui contient l'information A–B. Le signal S ne peut pas être exploité car il nous faut un signal de 38 kHz pour pouvoir « s'accrocher » dessus et le reconstituer (obligatoire pour une détection synchrone). En plus de ces deux signaux M et S, nous disposons d'un signal pilote de 19 kHz qui nous aiderait plus s'il était de 38 kHz. La solution ? Nous allons tout simplement créer sur place, dans le récepteur, un signal de 38 kHz qui sera synchronisé sur le signal pilote 19 kHz. À l'émission, nous avons donc une porteuse 38 kHz qui est synchronisée (qui est en phase, si vous préférez) avec le signal pilote

http://fribok.blogspot.com/

19 kHz, et à la réception, nous créons un nouveau signal 38 kHz qui est lui-même synchronisé (en phase) avec le pilote 19 kHz émis et reçu. En conclusion, le signal 38 kHz, créé de toutes pièces dans le récepteur, est synchronisé sur le signal 38 kHz de l'émetteur, qui a été supprimé et non transmis.

Sepatoo –J'ai un peu de mal à suivre ! Vous voulez dire que l'on a créé dans le récepteur FM, un nouveau signal de 38 kHz qui est rigoureusement identique à celui qui servait de porteuse pour le signal différence A–B, mais qui a été supprimé et donc non transmis ?

Tentatoo – C'est exactement ça.

Sepatoo – Vraiment, j'ai du mal à comprendre. Supprimer quelque chose pour le reconstituer plus tard. Que de travail supplémentaire !

Tentatoo – Dites-vous bien, encore une fois, que cela n'est pas fait gratuitement. Des obligations techniques ont poussé à faire ce choix, c'est une solution parmi d'autres qui répondait à une demande du moment.

Sepatoo – Si j'y réfléchis un peu, ce choix devait être un bon choix, car mon petit poste de radio FM stéréo fonctionne très bien et je ne l'ai pas payé très cher. Mais comment créer un signal de 38 kHz à partir du pilote 19 kHz ?

Tentatoo – Par exemple en opérant une multiplication de fréquence par deux du pilote 19 kHz, via un redressement double alternance. Ou en l'amplifiant suffisamment pour que le signal sinusoïdal 19 kHz prenne une forme carrée, créant ainsi une fréquence harmonique à 38 kHz qu'il suffit ensuite de filtrer. On peut aussi utiliser un oscillateur œuvrant aux alentours de 38 kHz, et dont la fréquence est constamment ajustée et synchronisée sur le pilote 19 kHz au moyen d'une boucle à verrouillage de phase.

Sepatoo – Ce nom me donne la chair de poule.

Tentatoo – Il s'agit pourtant d'un procédé qui n'est pas très compliqué, que l'on peut dans le cas présent mettre en œuvre avec des composants courants, et qui ne devrait pas vous faire peur. Je ne vais pas détailler son fonctionnement maintenant, car nous en parlerons plus en détail très prochainement.

Sepatoo – Voir cela plus tard n'est pas pour me déplaire. Mais je repense à une chose, soudainement. Les lettres M et S que vous avez associées aux signaux A+B et A–B, signifient bien mono et stéréo, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Je dirais plutôt que les lettres M et S signifient *Main* (principal) et *Sub* (secondaire). J'avoue que l'analogie avec mono et stéréo est facile et vite venue, et que ça ne fait pas vraiment de mal quand on sait de quoi on parle.

3.3 RDS et DARC

Sepatoo – Vous me parliez de RDS, tout à l'heure. Les données RDS sont donc associées aux signaux audio, dans le signal multiplex, avant la modulation en FM ?

Tentatoo – Oui.

Sepatoo – Et nous allons voir comment moduler une porteuse à 57 kHz pour transporter ces données ?

Tentatoo – Nous n'en aurons pas le temps, et d'ailleurs, je ne suis pas sûr de pouvoir vous expliquer cela. Nous allons juste prévoir sur notre émetteur,

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

une entrée spécifique qui permettra d'ajouter un signal RDS si un jour l'envie vous en prend. Le codage RDS est une chose, et la modulation des données RDS en est une autre. Deux choses que l'on peut confier sans complexe à un équipement dédié et externe à l'émetteur FM, appelé *codeur RDS*.

Sepatoo – Et il suffira d'additionner le signal RDS venant du codeur RDS, aux signaux audio existants, sans autre forme de procès ?

Tentatoo – Oui, avec un sommateur simple comme celui présenté en **figure 3.13**.

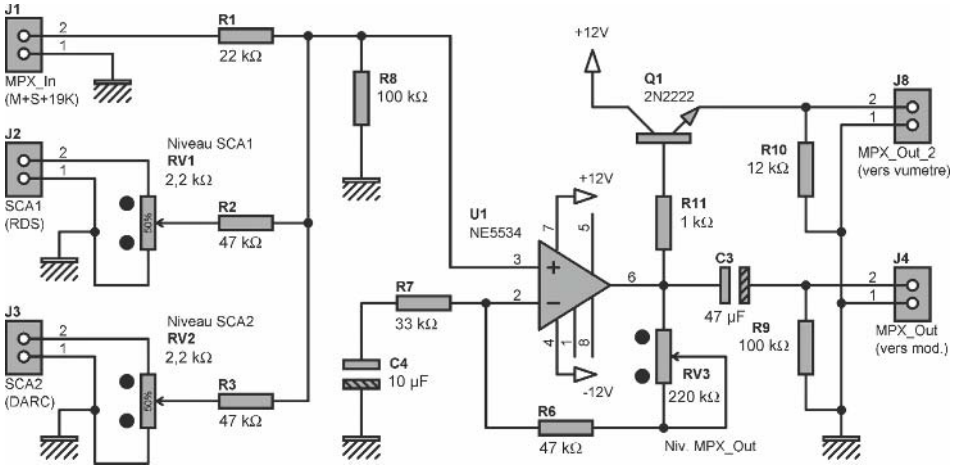


Figure 3.13

Sepatoo – Ce schéma me rappelle celui d'un mélangeur audio.

Tentatoo – Vous pouvez le considérer comme tel.

Sepatoo – On additionne donc le signal RDS qui vient d'un codeur RDS externe, au MPX existant, en l'insérant sur le connecteur d'entrée J2 SCA1/RDS. Mais dites-moi, quel est donc ce connecteur J3 que vous appelez SCA2/DARC ?

Tentatoo – Le DARC permet, comme le RDS, de transporter des données associées au programme audio, mais avec un débit d'informations plus important. Autant donc prévoir tout de suite une entrée pour ce type de données, générée par un codeur DARC, même si aujourd'hui vous n'avez pas prévu un tel appareil.

Sepatoo – Je vois que le RDS et le DARC sont logés à la même enseigne puisque l'on trouve les mêmes circuits électroniques pour les deux entrées. Je suppose donc que l'on doit pouvoir mettre du RDS sur l'entrée DARC et inversement mettre du DARC sur l'entrée RDS.

Tentatoo – Vous avez tout à fait raison. Le signal DARC est centré sur une porteuse de 76 kHz, alors que le RDS est centré sur une porteuse de 57 kHz. Mais les deux types de données sont traités de la même façon dans l'émetteur.

Sepatoo – Tiens, la fréquence de 76 kHz est aussi un multiple entier de 19 kHz. Ce n'est pas un hasard, n'est-ce pas ? Combien de porteuses de fréquence multiple de 19 kHz allons-nous trouver au bout de nos discussions ?

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Aucune de plus, et je doute fort en voir arriver de nouvelles. Le signal MPX est en effet réparti sur une bande passante qui s'étale de 0 à 100 kHz. Avec l'arrivée de la radio numérique, et bien qu'il ne faille jamais jurer de rien, je doute fort que les bases fondamentales de la radio analogique viennent à changer maintenant.

Sepatoo – Bien, cela me fera donc deux connecteurs d'entrée supplémentaires sur mon boîtier, ça pourra toujours faire décoration.

Tentatoo – Vous n'êtes pas obligé de prévoir ces entrées, et vous pouvez les ignorer purement et simplement tant qu'elles ne vous sont pas nécessaires. Vous aurez sans doute remarqué que le réglage du niveau de MPX se fait par un potentiomètre situé sur la carte codeur stéréo, et non dans le sommateur, ce qui permet de disposer du réglage même si vous ne construisez pas le sommateur. Notez en outre que certains fabricants proposent un équipement qui peut réaliser en même temps le codage RDS et le codage DARC. Avec ce type d'appareil, une seule entrée de type RDS est nécessaire au niveau de l'émetteur.

Sepatoo – J'aimerais bien passer directement à la suite, mais la sortie MPX_Out_2 m'intrigue un peu. Pourquoi prévoir une telle sortie pour le vumètre ? N'est-il pas possible de se repiquer directement sur la sortie MPX principale qui va vers le modulateur ?

Tentatoo – Cela est possible, mais il vaut mieux séparer le plus possible le modulateur des autres éléments, afin de le perturber le moins possible. Si vous le souhaitez vraiment, vous pouvez supprimer le transistor Q1 et les résistances R10 et R11, puis câbler directement les deux sorties MPX entre elles, et voir ce que cela donne. Je ne vous en dis pas plus.

3.4 Signal multiplex (MPX) complet

Tentatoo – Je pense qu'il est temps maintenant de faire le point avec tous ces signaux basse fréquence, qui se trouvent finalement concentrés en un seul point appelé signal multiplex (MPX). Voyez donc le schéma récapitulatif donné à la **figure 3.14**, qui résume ce que l'on trouve avant le modulateur FM, et dont nous avons discuté jusqu'à présent.

Sepatoo – Je reconnais presque tout. Mais à quoi servent donc l'entrée AUX et la sortie 19K ?

Tentatoo – L'entrée AUX correspond à l'entrée que nous avons tout à l'heure appelée DARC ou SCA2, et qui est donc similaire à l'entrée RDS.

Sepatoo – Avouez que vous aimez m'embrouiller. Soit, j'ai compris pour l'entrée AUX, sur laquelle je pourrais donc, si je le désirais, raccorder mon signal RDS, puisque les deux entrées RDS et AUX sont de même type. Et pour la sortie 19 kHz ?

Tentatoo – Non, je n'aime pas particulièrement vous embrouiller, je tenais simplement à ce que vous sachiez que les fabricants d'émetteurs appellent ces entrées RDS, DARC, AUX ou SCA, cela dépend des marques et des modèles. La sortie 19 kHz permet de synchroniser la fréquence porteuse de 57 kHz du codeur RDS sur la fréquence du pilote 19 kHz de l'émetteur, afin que les deux fréquences possèdent une relation en phase stable. Ne pas

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

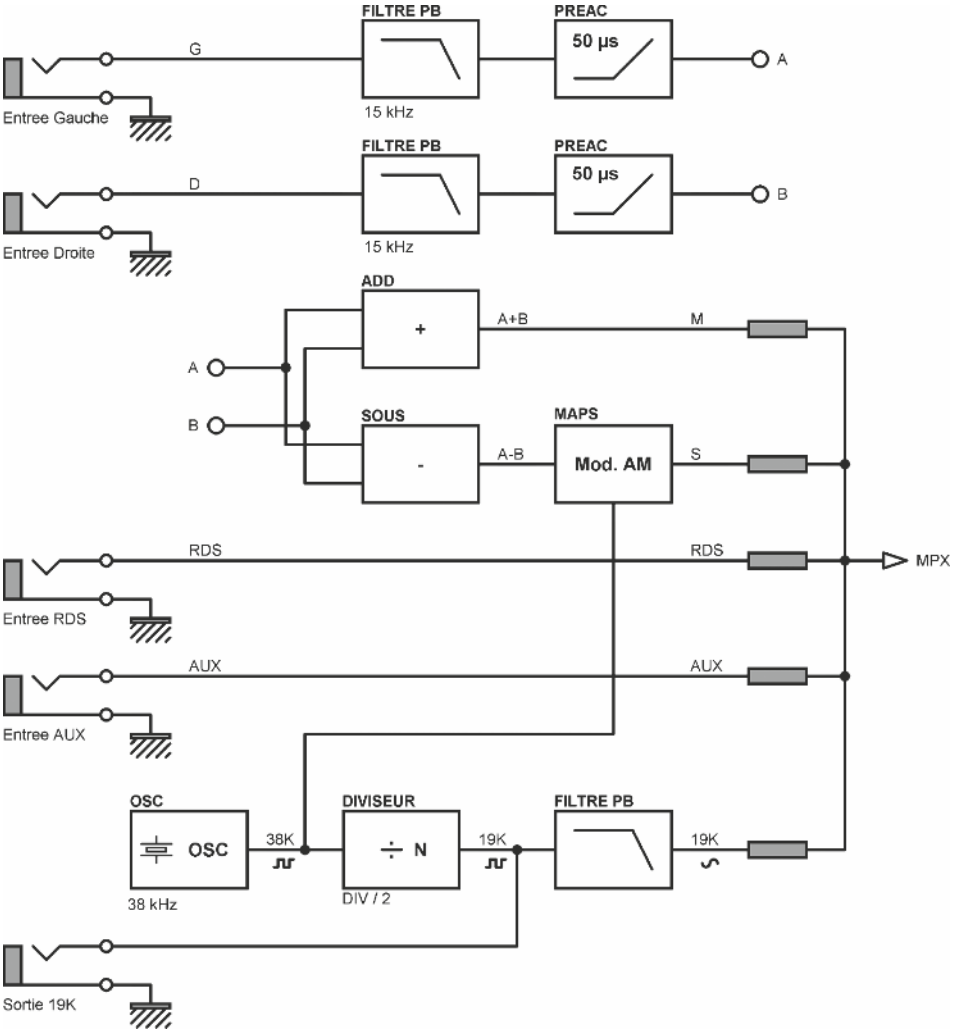


Figure 3.14. **Synoptique général MPX.**

synchroniser ces deux fréquences peut provoquer l'apparition d'un défaut audible dans le récepteur FM, appelé *Motorboating*, défaut qui se traduit par un battement à basse fréquence, surtout audible lors de silences ou passages audio à faible niveau.

Sepatoo – Ah, comme c'est curieux. J'ai déjà entendu parler de ce terme, mais qui désignait un défaut audible dans un vieil ampli à lampes dont les condensateurs de filtrage d'alimentation n'étaient plus bons.

Tentatoo – Probablement le même type de défaut.

Sepatoo – Encore une question, si je peux me permettre.

Tentatoo – Je vous en prie.

Sepatoo – Je vois sur votre synoptique MPX que l'on dispose de deux types de signaux à 19 kHz. L'un est rectangulaire, c'est celui qui sert à la mise en phase de la porteuse 57 kHz du codeur RDS externe. L'autre est sinusoïdal,

http://fribok.blogspot.com/

et est mélangé avec les autres signaux du multiplex. J'imagine qu'il s'agit du pilote 19 kHz, mais pourquoi s'embêter avec un filtre passe-bas et ne pas tout simplement utiliser le signal 19 kHz rectangulaire qui existe déjà ?

Tentatoo – Vous avez raison, le pilote 19 kHz est bien sinusoïdal. Pourquoi pas un signal rectangulaire ? Tout simplement parce qu'un signal rectangulaire est riche en harmoniques : en plus de la raie à 19 kHz, on aurait aussi une raie à 38 kHz, une autre à 57 kHz…

Sepatoo – Un signal sinusoïdal semble effectivement plus approprié. Et si je ne me trompe pas, la sinusoïde devra être la plus pure possible.

Tentatoo – Tout à fait juste. Un soin particulier doit être apporté à la production de ce signal pilote, qui doit être le moins distordu possible.

Sepatoo – Aurait-il été possible d'utiliser un générateur audio délivrant directement un signal sinusoïdal à 19 kHz en guise de pilote ? Je me rappelle d'un schéma d'oscillateur à transistors permettant de générer un sinus à peu de frais.

Tentatoo – À peu de frais peut-être, mais stable en fréquence, j'en doute fort. Vous devez vous souvenir de deux choses : la première est que le pilote 19 kHz doit être extrêmement stable en fréquence, la deuxième est que sa phase doit être reliée à celle de la porteuse 38 kHz qui soutient la composante A–B. Sans ces deux conditions, le décodage du signal stéréophonique dans le récepteur FM se fera mal ou même pas du tout.

Sepatoo – Ah, je ne pensais pas que cela pouvait être aussi important. Je comprends maintenant pourquoi la solution consistant à filtrer un signal rectangulaire très stable est préférée. Mais il me semble que vous avez oublié de proposer un schéma permettant la production d'un signal 19 kHz.

Tentatoo – Je ne l'ai pas oublié. J'ai même trois schémas à vous proposer.

Sepatoo – Trois schémas ! Mais pourquoi faire ?

Tentatoo – Pour vous présenter trois méthodes possibles, tout simplement. Le premier oscillateur est de type libre, sa stabilité peut demander un réajustage de temps en temps. Voyez son schéma en **figure 3.15**. Ne tenez pas compte de la partie inférieure du schéma (découplage alim et portes logiques non utilisées), qui n'est pas utile pour la compréhension du circuit oscillateur à proprement parler.

Sepatoo – Je reconnais le bon vieux NE555 ! Ainsi on peut générer un signal de 19 kHz avec ce circuit.

Tentatoo – Vous n'avez pas bien lu les annotations du schéma. Le NE555 ne génère pas directement un signal de 19 kHz, mais un signal de 76 kHz, qui est ensuite divisé par deux pour obtenir deux signaux de 38 kHz en opposition de phase, puis qui est de nouveau divisé par deux pour obtenir notre signal à 19 kHz.

Sepatoo – Encore une complication dont seuls les concepteurs ont le secret…

Tentatoo – Ce n'est pas une complication mais une obligation. On doit en effet disposer d'un signal de 38 kHz rectangulaire ayant un rapport cyclique de 50 % très exactement. Or, il est assez difficile d'obtenir un rapport cyclique de précisément 50 % avec un NE555 monté tel qu'il l'est. Il existe bien sûr des méthodes pour s'en approcher (ajout d'une diode ou d'un transistor dans

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

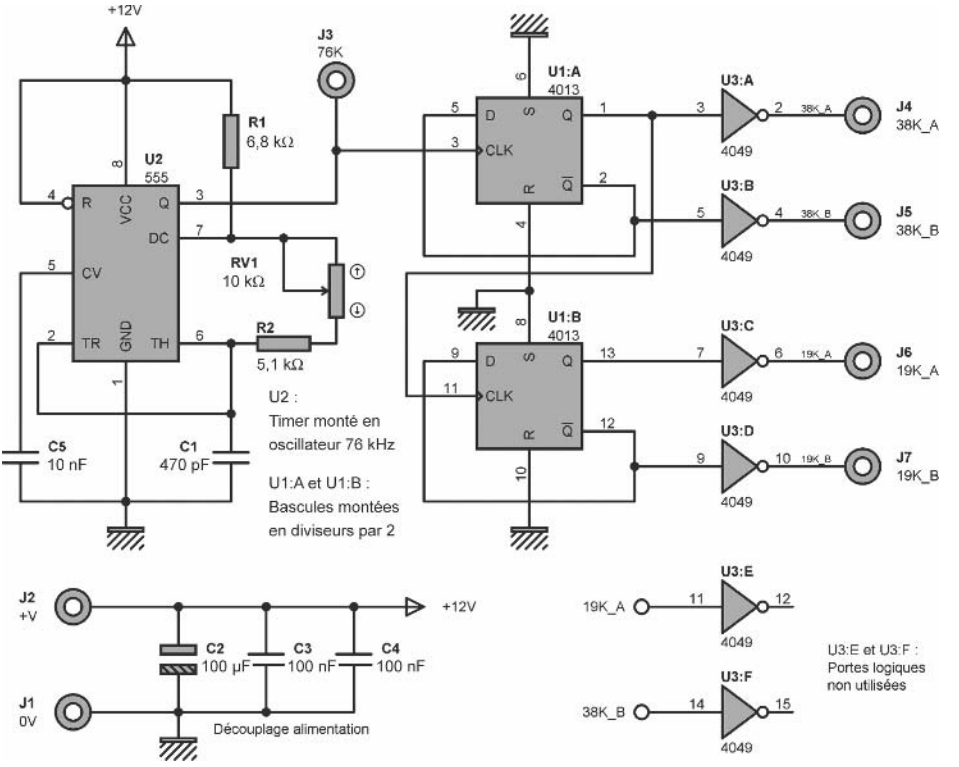


Figure 3.15

le circuit de charge du condensateur C1), mais le résultat n'est pas aussi précis que celui que nous avons avec le montage présenté.

Sepatoo – Et ce montage donne de bons résultats ?

Tentatoo – Très bons… sur une durée donnée. Il est simple mais présente une certaine dérive avec le temps, la fréquence précisément réglée un jour peut avoir dérivé et ne plus être la même le lendemain. C'est un montage parfait pour expérimenter, mais pas assez « professionnel ».

Sepatoo – Hum… dommage, car j'avais justement plusieurs NE555 dans mon tiroir. Et quel montage proposez-vous alors pour avoir une meilleure stabilité en fréquence ?

Tentatoo – Vous ne devriez pas me poser la question, il me semble.

Sepatoo – Ah oui, un oscillateur à quartz ! Reste à trouver un quartz de 19 kHz et le tour est joué.

Tentatoo – Vous oubliez que nous devons aussi avoir un signal à 38 kHz.

Sepatoo – Eh bien, produisons un signal de 19 kHz et multiplions-le par deux !

Tentatoo – Très bien, proposez-moi un montage et construisons-le.

Sepatoo – À vous entendre, j'ai le sentiment que ce n'est pas aussi simple.

Tentatoo – Pour tout vous dire, cette solution existe, mais est plus compliquée et moins sûre que celle qui consiste à travailler avec un signal original de 38 kHz que l'on divise ensuite par deux. Nous le verrons d'ailleurs très

http://fribok.blogspot.com/

prochainement. Voici en **figure 3.16** un schéma d'oscillateur 38 kHz dont la stabilité est celle dictée par le quartz de même fréquence utilisé (X1 sur le schéma).

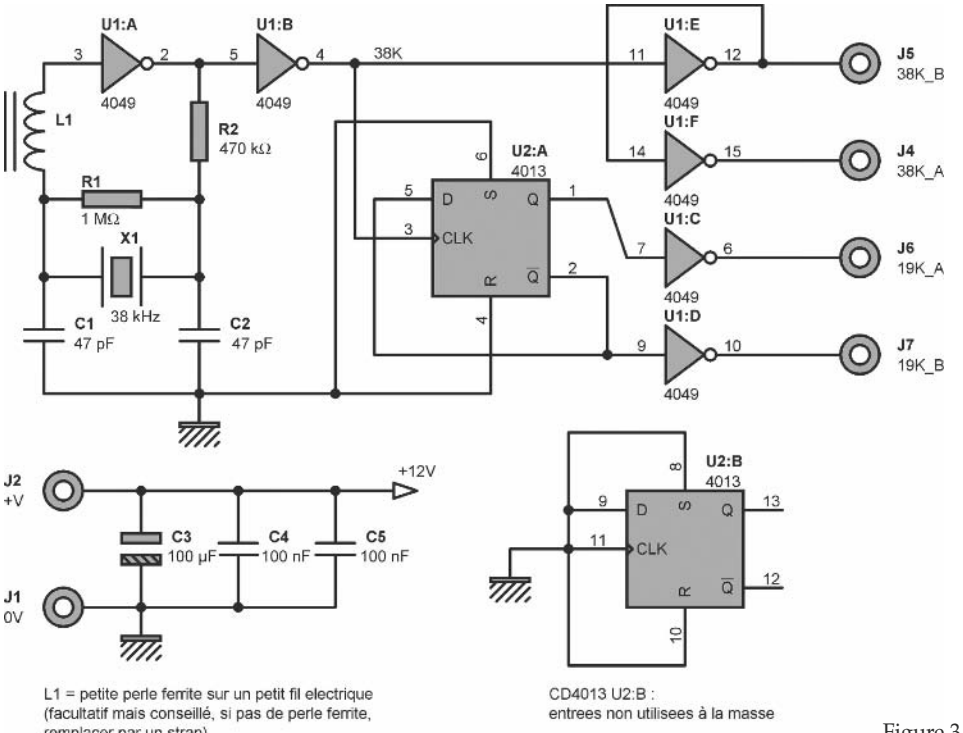


Figure 3.16

Sepatoo – Je croyais qu'un oscillateur à quartz serait bien plus compliqué que ça à réaliser. Ce dernier me semble aussi simple que l'oscillateur mettant en œuvre le NE555. Alors pourquoi s'embêter quand on peut faire mieux en terme de stabilité, adoptons ce montage et n'en parlons plus !

Tentatoo – Vous avez raison, ce montage est simple. Mais malheureusement, une ombre vient noircir le tableau.

Sepatoo – Le prix du quartz ?

Tentatoo – Non, le prix du quartz est encore raisonnable. Le problème est surtout lié à sa disponibilité. Les quartz 38 kHz ne sont pas très fréquents ni très bien distribués. Moi-même j'ai dû commander les miens aux États-Unis. Notons au passage que l'on peut aussi utiliser un quartz de 76 kHz associé à deux diviseurs par deux, mais ce quartz n'est pas vraiment plus facile à dénicher.

Sepatoo – C'est toujours la même chose : quand un circuit est simple, il y a toujours quelque chose qui va nous empêcher de le fabriquer. Et je suppose que c'est la raison pour laquelle vous avez un troisième schéma sous le coude.

Tentatoo – Vous avez raison. Ce troisième schéma, visible en **figure 3.17**, est certes plus compliqué, mais tous les composants se trouvent facilement.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

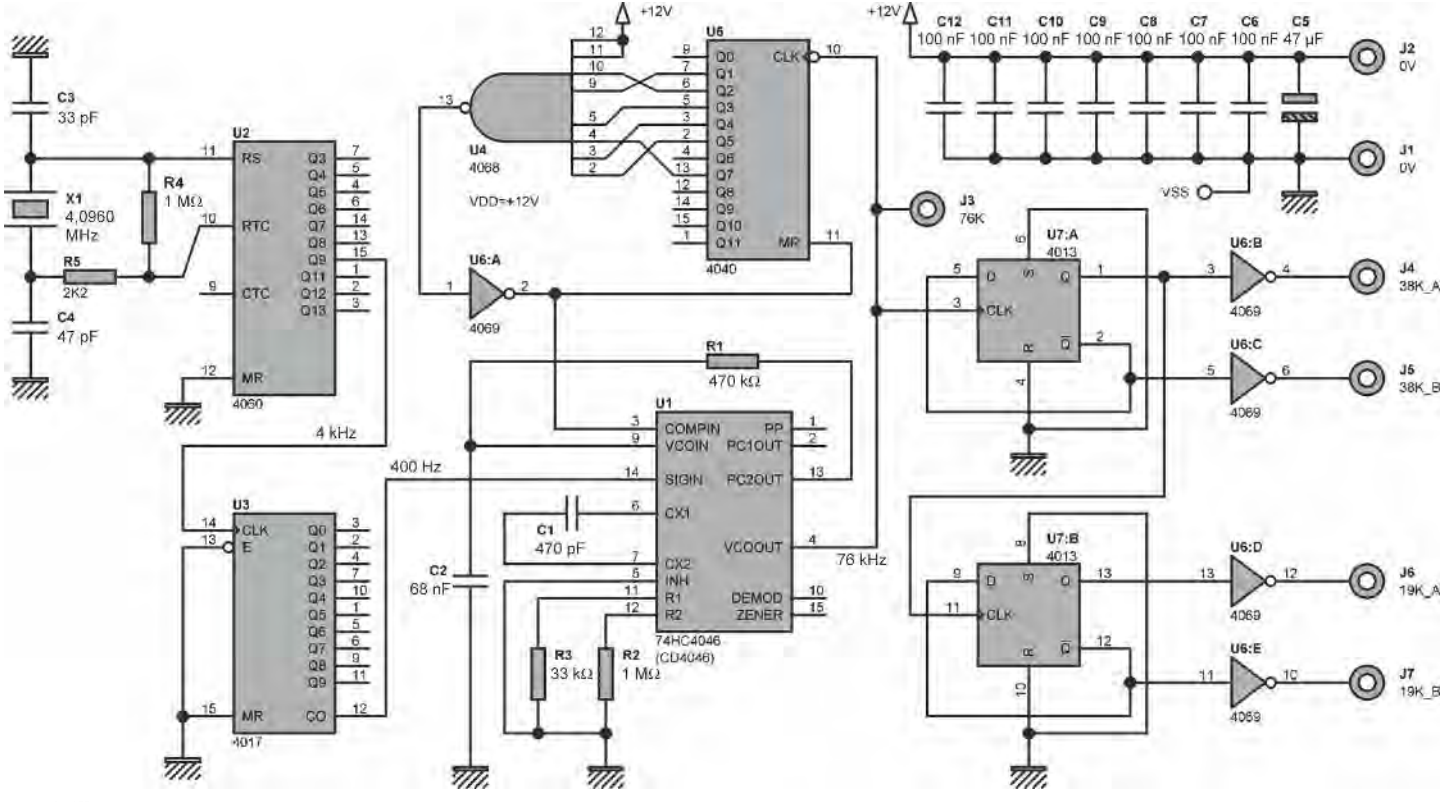


Figure 3.17

http://fribok.blogspot.com/

Basé lui aussi sur l'utilisation d'un quartz, sa précision et sa stabilité sont excellentes.

Sepatoo – Ouh la la !

Tentatoo – Mais non, n'ayez pas peur. Encore une fois, ce type de montage est simple à comprendre si on prend la peine de le décomposer en sous-ensembles. Je vais vous aider un peu car j'ai l'impression que vous allez tourner de l'œil. Vous avez en haut à gauche, un oscillateur à quartz construit autour d'un CD4060 (U2 sur le schéma) et oscillant à la fréquence du quartz de 4,096 MHz. Le signal de 4,096 MHz est divisé plusieurs fois par deux au cœur même du CD4060, jusqu'à ce que sa valeur soit de 4 kHz, signal disponible sur la sortie Q9 (broche 15). Puis ce signal de 4 kHz est appliqué à l'entrée d'horloge d'un compteur CD4017 (U3), qui va procéder à une division par dix. Ce qui nous donne ?

Sepatoo – 400 Hz.

Tentatoo – Bien, je voulais juste m'assurer que vous étiez encore avec moi. Ce signal de 400 Hz va nous servir de référence très stable, et il est appliqué sur l'entrée signal du comparateur de phase inclus dans le circuit PLL CD4046 (U1). Cette PLL (*Phased Locked Loop*, boucle à verrouillage de phase) contient tout le nécessaire pour produire un signal A synchronisé sur un signal B de référence. La fréquence du signal B de référence n'est pas obligatoirement identique à celle du signal A à produire, mais elle peut l'être. En ce qui nous concerne, nous voulons produire un signal A de 76 kHz très stable (puisqu'il nous servira pour générer nos signaux 38 kHz et 19 kHz), et nous allons faire en sorte que ce signal A de 76 kHz soit parfaitement synchrone avec le signal B de référence à 400 Hz.

Sepatoo – Tout cela est d'une complexité absolue. Moi qui pensais avoir déjà vu les pires schémas qui puissent exister, le constat est amer.

Tentatoo – Allons, mon ami, ne vous mettez pas dans un état pareil. Vous avez déjà vu un oscillateur, une porte logique inverseuse et un compteur, tout de même.

Sepatoo – Oui, mais une PLL, ça non !

Tentatoo – Je veux bien comprendre que ce nouveau composant vous fasse un peu frémir. Dans un premier temps, je souhaiterais que vous le considériez comme une boîte noire qui intègre deux éléments distincts : un VCO et un comparateur de phase. Le VCO (*Voltage Controlled Oscillator*, oscillateur contrôlé en tension) est simplement un oscillateur dont la fréquence de fonctionnement est liée à la valeur d'une tension continue. Et le comparateur de phase est un élément qui fournit un signal dont la forme dépend de l'écart de phase ou de fréquence qui existe entre deux signaux périodiques appliqués à ses deux entrées.

Sepatoo – Jusque-là, ça va.

Tentatoo – Dans ce cas, tout va. Nous nous servons du VCO pour générer de toutes pièces un signal rectangulaire de fréquence 76 kHz. Pour le moment, cette fréquence n'est pas stable, disons que nous avons affaire à un oscillateur libre « basique », de même précision que le NE555 monté en oscillateur. Le comparateur de phase reçoit d'une part (sur son entrée SIGIN) le signal de 400 Hz très stable produit à partir de notre oscillateur à quartz, et

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

reçoit d'autre part (sur son entrée COMPIN) le signal de 76 kHz issu du VCO (sortie VCOOUT) qui a été divisé par 190 grâce à U5 et U4. Pouvez-vous me donner le résultat de la division de 76 kHz par 190, je vous prie ?

Sepatoo – Eh bien, si mes calculs sont justes, 400 Hz. Oh, mais c'est la même valeur que la fréquence de référence !

Tentatoo – Exactement. Et si la fréquence fournie par le VCO n'est pas de 76 kHz, mais de 78 kHz par exemple, le comparateur de phase va s'en rendre compte, car il verra sur une de ses entrées le signal très stable de 400 Hz, et sur son autre entrée un signal de 410,5 Hz (78 kHz divisé par 190). À cet écart de fréquence (400 Hz par rapport à 410,5 Hz) va correspondre un signal bien précis, en sortie du comparateur de phase (PC2OUT). Ce signal va être intégré (moyenné si vous préférez) par un filtre passe-bas du premier ordre, constitué ici de R1 et de C2, pour fournir une tension continue dont la valeur va justement dépendre de l'écart entre les deux signaux à comparer. Et cette tension continue est tout simplement utilisée pour commander le VCO, dont la fréquence dépend de la tension de commande qu'on lui applique.

Sepatoo – Vous voulez dire que plus l'écart entre les deux signaux appliqués au comparateur de phase va être important, plus la tension en sortie du filtre va modifier la fréquence du VCO ?

Tentatoo – C'est tout à fait cela. Le VCO va ainsi automatiquement modifier sa fréquence jusqu'à ce que les deux entrées du comparateur de phase voient des signaux identiques. Nous avons affaire à ce qu'on appelle un *asservissement par boucle*. En d'autres termes, un système avec un oscillateur et un circuit de contrôle, qui vérifie constamment que la fréquence en sortie est correcte, et qui procède à un réajustement automatique quand cela est nécessaire. La **figure 3.18** résume la situation.

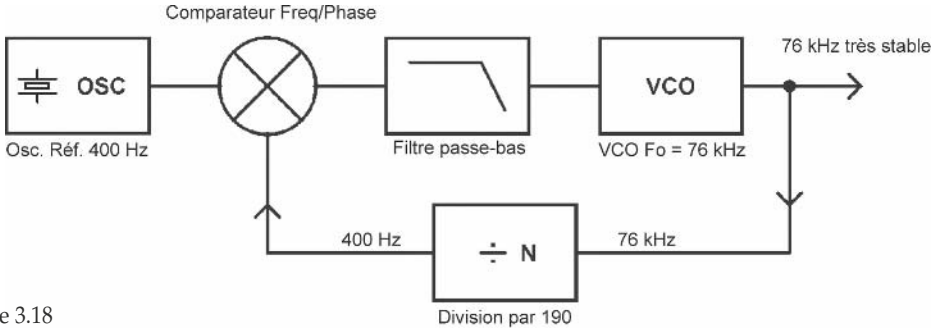


Figure 3.18

Tentatoo – Si la fréquence du signal généré par le VCO est trop basse, la tension d'erreur issue du filtre de boucle (c'est ainsi que l'on appelle le filtre passe-bas constitué de R1 et C2) est plus élevée et « pousse » la fréquence du VCO vers le haut. Si au contraire la fréquence du signal généré par le VCO est trop grande, la tension d'erreur issue du filtre de boucle est plus basse et « pousse » la fréquence du VCO vers le bas. À force de réajustages permanents, la fréquence de 76 kHz générée par le VCO est pour ainsi dire aussi stable que la fréquence de référence de 400 Hz.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Nous pouvons ainsi obtenir une fréquence très stable, mais au prix d'un nombre impressionnant de composants.

Tentatoo – C'est un exemple de réalisation, et j'admets qu'il peut sembler complexe. Certains auteurs n'hésitent pas à simplifier au maximum, en utilisant un quartz et un diviseur produisant une fréquence approchée. Par exemple avec un quartz de 6 MHz et une division par 79, qui permettent d'obtenir un signal de 75,949 kHz au lieu de 76,000 kHz. Comme cela fonctionne la plupart du temps, on pourrait se demander pourquoi s'embêter. Mais il faut savoir que dans le domaine de la diffusion professionnelle, il est demandé que la fréquence du pilote 19 kHz soit précise à ± 2 Hz. Ce qui impose une plage de fréquence de 37,996 à 38,004 kHz ou de 75,992 à 76,008 kHz.

Sepatoo – Avez-vous conçu le circuit imprimé pour ce troisième montage ? Si oui, je me sentirais plus d'attaque pour le construire.

Tentatoo – Un circuit imprimé a été dessiné pour chacune des trois versions d'oscillateur proposées. Les trois circuits sont de mêmes dimensions et les connections d'alimentation et de sorties sont positionnées aux mêmes endroits pour chacun d'eux, ce qui permet de remplacer facilement l'un par l'autre.

Sepatoo – Excellente idée ! Je pense alors réaliser le premier montage, car il faut bien que mes NE555 servent à quelque chose. Et si je dois retoucher trop souvent le potentiomètre de réglage de la fréquence d'oscillation, je construirai alors le troisième montage. Pour être franc, je n'ai pas envie de commander un quartz de 38 kHz aux États-Unis, et laisserai donc le second montage de côté.

http://fribok.blogspot.com/

4 LA STABILITÉ DE LA FRÉQUENCE D'ÉMISSION

Tentatoo – Nous parlions de la stabilité de la fréquence du signal pilote 19 kHz, nous allons maintenant parler de la stabilité de la fréquence d'émission de l'émetteur. Pouvez-vous me dire des choses à ce sujet ?

Sepatoo – J'ai par le passé réalisé un micro émetteur FM, qui ne demandait que quelques composants courants pour fonctionner. Et il est vrai qu'il fonctionnait très bien, on pouvait entendre ma voix dans le tuner du salon jusqu'à plusieurs dizaines de mètres ! J'imagine que l'on pourrait garder la structure du bloc d'émission et adapter l'entrée BF pour accepter des niveaux d'entrée plus élevés.

Tentatoo – Et lors de vos essais, n'avez-vous rien constaté de gênant ?

Sepatoo – Ma foi, non. L'émission en elle-même était claire et précise. La pile ne durait pas bien longtemps il est vrai, mais ce genre de problème peut facilement être résolu à l'aide d'une alimentation secteur bien stabilisée.

Tentatoo – Pourriez-vous me dire, si vous vous en souvenez bien sûr, si votre tuner était équipé d'une mise en ou hors fonction d'un *contrôle automatique de fréquence* (CAF) ?

Sepatoo – Maintenant que vous m'en parlez, je me souviens d'un petit problème avec la fréquence, oui. Mais comme j'avais réussi à m'en débarrasser, je n'y pensais plus.

Tentatoo – De quel problème s'agissait-il donc, et comment avez-vous réussi à le surmonter ?

Sepatoo – Après avoir mis sous tension mon micro émetteur, je calais le récepteur FM sur la fréquence d'émission. Mais au bout d'un court moment, on entendait des bruits parasites et le son était moins bon, parce que le récepteur se déréglait. J'étais alors obligé de recaler le récepteur sur la fréquence de l'émetteur. Jusqu'à ce que je comprenne qu'en maintenant le bouton CAF enfoncé, je n'avais plus besoin de recaler le récepteur.

Tentatoo – Mon cher Sepatoo, ce n'est pas le récepteur radio qui se déréglait, mais c'est la fréquence de votre petit émetteur qui dérivait. La fonction CAF de votre récepteur permettait simplement de se recaler automatiquement sur la fréquence d'émission, jusqu'à ce que la dérive en fréquence de l'émetteur ne puisse plus être rattrapée par le récepteur. Mais dites-moi, dans quel type de boîtier aviez-vous monté cet émetteur ?

Sepatoo – Au début, dans un boîtier en plastique, c'est tellement plus pratique à usiner.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Et tellement déconseillé pour un montage de ce genre…

Sepatoo – Oh, je m'en suis rendu compte, figurez-vous ! Si je réglais le récepteur pour recevoir correctement le son alors que l'émetteur était posé sur la table, tout déraillait dès que je le prenais en main. Ce qui était plutôt fâcheux pour un micro émetteur fait pour être tenu à la main.

Tentatoo – Qu'avez-vous fait ensuite ?

Sepatoo – J'ai utilisé un boîtier métallique, comme l'auteur du montage le préconisait.

Tentatoo – Vous n'aviez donc pas lu l'article en entier avant de commencer à bricoler.

Sepatoo – Si, bien sûr, mais je n'avais alors qu'un boîtier en plastique. Je pensais que le boîtier métallique était mieux uniquement pour une question de robustesse.

Tentatoo – Qu'avez-vous observé après installation de l'émetteur dans un boîtier métallique ?

Sepatoo – Qu'il fonctionnait mieux et n'était plus autant perturbé quand je le tenais en main.

Tentatoo – À quoi avez-vous attribué ce phénomène ?

Sepatoo – Sans doute au fait que certains composants étaient perturbés par la présence de ma main.

Tentatoo – En quoi pouvaient-ils être perturbés ?

Sepatoo – Par le 50 Hz capté par mon corps humain ?

Tentatoo – Je pencherais tout de même plus pour la capacité parasite de votre corps et en particulier de votre main. Vous vous souvenez sans doute que les condensateurs utilisés pour le circuit oscillant de votre petit émetteur FM possédaient une faible valeur, et qu'une légère modification de quelques picofarads pouvait décaler la fréquence d'oscillation dans de grandes proportions. Le problème avec ce genre de petit émetteur, est qu'un seul transistor assure le rôle d'oscillateur et d'« amplificateur », et que l'antenne y est raccordée directement, sans passer par un étage supplémentaire permettant d'isoler l'oscillateur. L'antenne constitue un élément de taille importante qui va déstabiliser l'oscillateur à la moindre variation de son environnement. Pour bien faire, il faut ajouter un « mur isolant » entre l'oscillateur et l'antenne, pour que l'oscillateur soit toujours chargé de la même façon et que sa fréquence ne dérive pas pour un oui ou pour un non.

Sepatoo – Je ne me sers plus guère de ce petit émetteur, qui m'avait toutefois bien amusé. Si je devais refaire un micro émetteur, je suppose que vous préconiseriez l'usage d'un quartz pour stabiliser la fréquence d'émission.

Tentatoo – Il existe plusieurs façons de réaliser des oscillateurs, et le quartz est en effet un composant qui est utilisé quand on souhaite avoir une fréquence d'une très grande stabilité.

Sepatoo – Pourriez-vous me parler des différents types d'oscillateurs que nous pourrions mettre en œuvre pour notre émetteur FM ?

Tentatoo – Bien entendu, et je l'avais même prévu, pour tout vous dire. Commençons donc par discuter un peu des oscillateurs libres.

http://fribok.blogspot.com/

4.1 Oscillateur libre

Tentatoo – Un *oscillateur libre* est un oscillateur qui accepte de fonctionner avec des composants simples, tels que résistances, condensateurs et selfs, et dont la fréquence de fonctionnement n'est pas imposée de manière très stricte. Dans ce genre d'oscillateur, on rencontre principalement des associations résistances-condensateurs dans le domaine des basses fréquences, et des associations selfs-condensateurs dans le domaine des hautes fréquences. C'est typiquement ce type d'oscillateur qui est utilisé pour les micro émetteurs FM tel que celui que vous avez construit, et qui devait sans doute ressembler un peu au schéma donné en **figure 4.1**, où le premier transistor est monté en amplificateur BF et le second en oscillateur RF.

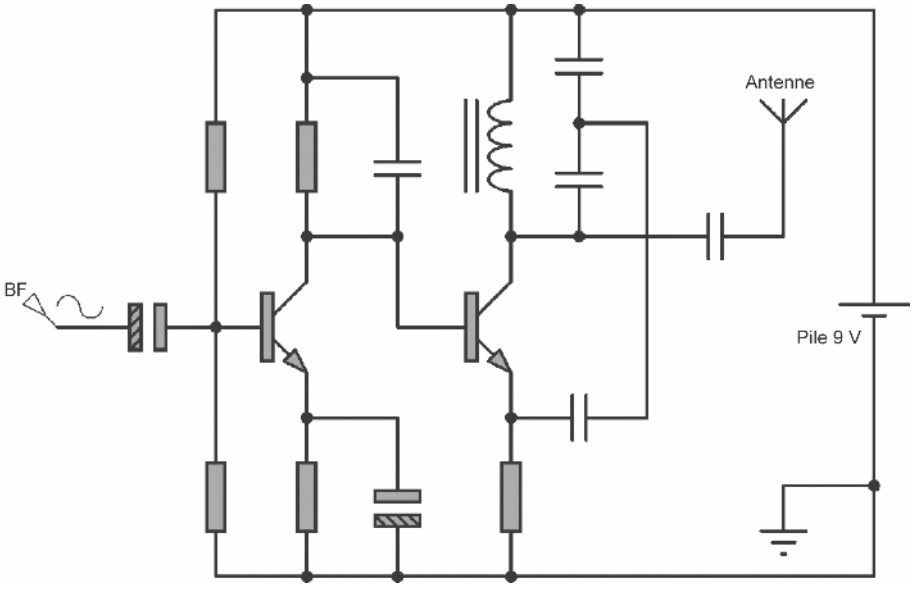


Figure 4.1

Sepatoo – Je perçois en effet une certaine ressemblance, même s'il me semble que le mien était encore plus simple que le vôtre.

Tentatoo – Mais j'y pense, ne m'aviez-vous pas dit que les selfs étaient votre bête noire ?

Sepatoo – Pour tout dire, j'ai utilisé un circuit imprimé qui était offert dans une revue d'électronique, et où la self était dessinée sur le circuit lui-même. Je n'ai donc pas eu besoin d'en bobiner une.

Tentatoo – Je comprends mieux maintenant. Vous avez ainsi découvert qu'une self pouvait prendre place à plat, sur un circuit imprimé.

Sepatoo – Ce qui évite le dur labeur de devoir la bobiner soi-même.

Tentatoo – Et ce qui limite aussi la possibilité de l'ajuster. Une self à air, constituée de quelques enroulements de fil rigide, peut voire sa valeur modifiée en écartant plus ou moins ses spires. Alors que la valeur d'une self imprimée ne peut guère être modifiée une fois qu'elle est gravée sur le circuit.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Cela est très ingénieux, et j'imagine que la valeur d'une self ainsi constituée est susceptible de très peu varier d'une construction à une autre, ce qui peut permettre de limiter certains réglages.

Tentatoo – Tout à fait. Si le micro émetteur FM que vous avez fabriqué avait été doté d'une self à air, il est possible que l'oscillateur ait oscillé bien en dehors de la plage de fréquence attendue, vous laissant penser que ça ne fonctionnait pas.

Sepatoo – C'est ce qui m'est arrivé à la première mise sous tension. Bien qu'en balayant toute la bande FM je n'arrivais pas à me caler sur la fréquence de mon émetteur, j'avais l'intime conviction que le montage fonctionnait tout de même, car lors de la connexion ou déconnexion de la pile, j'entendais un pshhh très bref dans mon poste récepteur. En fait, j'ai juste dû tourner un condensateur ajustable pour émettre sur une fréquence que je pouvais recevoir.

Tentatoo – C'est l'un des inconvénients de ce genre d'oscillateur : ils peuvent parfois travailler sur une large plage de fréquences et rendre l'ajustage moins pratique et moins précis. Un autre inconvénient, et de taille, est leur susceptibilité à l'environnement. La fréquence d'oscillation peut varier en fonction de la température et de tout ce qui se trouve au voisinage de l'antenne. Y compris votre main ou votre corps tout entier. C'est ce que je vous disais tout à l'heure.

Sepatoo – Pour ce qui est de ma main, je préfère ne pas penser aux solutions envisageables pour annuler son effet. Mais pour ce qui est de la température, ne serait-il pas possible d'ajouter une résistance variant avec elle, CTN ou CTP, pour compenser ce fâcheux effet de variation non désirée de la fréquence ?

Tentatoo – On le pourrait dans certaines limites, mais ce ne serait pas tellement plus stable. Si l'on veut vraiment une très grande stabilité, il faut se tourner vers un oscillateur à quartz.

Sepatoo – Qui implique malheureusement un montage beaucoup plus complexe, comme nous l'avons vu précédemment pour la production des signaux 38 kHz et 19 kHz.

4.2 Oscillateur à quartz

Tentatoo – La complexité est toujours relative. Une fois que vous avez réalisé votre premier *oscillateur à quartz* et qu'il fonctionne, vous vous dites que ce n'était finalement pas si compliqué que ça. Cela dit, il y a oscillateur à quartz et oscillateur à quartz. Nous allons commencer par un oscillateur à quartz « simple » et verrons plus tard un autre système à quartz dont le principe est radicalement différent. Reportez-vous au schéma donné à la **figure 4.2**, voulez-vous.

Sepatoo – La partie HF de ce schéma n'est pas plus compliquée que celle de l'oscillateur libre.

Tentatoo – En plus il bénéficie d'une très bonne stabilité de la fréquence d'émission, grâce au quartz X1. La diode varicap D1 est une diode un peu particulière, qui se comporte comme un condensateur variable et dont la

http://fribok.blogspot.com/

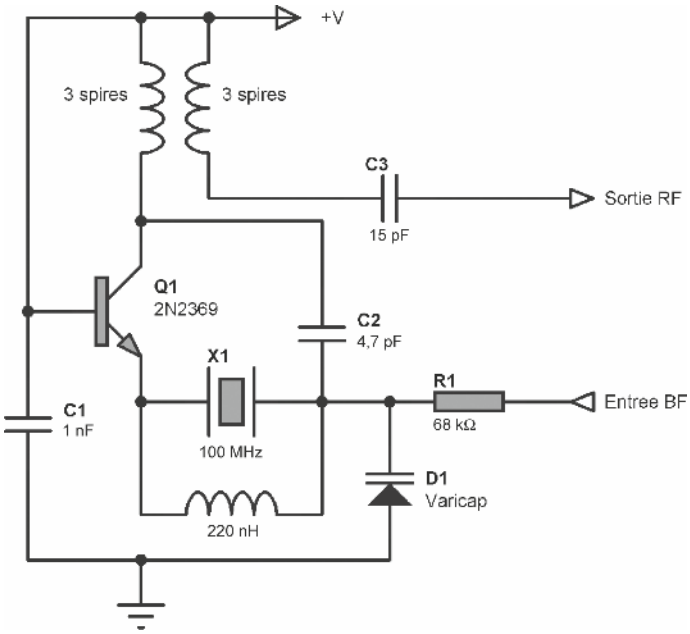


Figure 4.2

valeur capacitive varie en fonction de la tension continue appliquée en inverse sur ses bornes. On s'en sert ici pour assurer la modulation de fréquence au rythme de la modulation BF. Plus l'amplitude du signal BF est importante, plus la capacité de la diode diminue, ce qui provoque une variation plus importante de la fréquence d'émission.

Sepatoo – Mais c'est le montage idéal !

Tentatoo – Si vous êtes sûr de ne pas devoir changer fréquemment de fréquence d'émission, et pour une faible valeur d'excursion de fréquence, oui. Ce type de montage convient bien pour des excursions en fréquence faibles, de quelques kHz, comme dans les applications CB ou radioamateur. Mais pour un usage en FM grand public, ça ne suffit plus.

Sepatoo – Mais si ce type de circuit n'est pas utilisable pour notre application, pourquoi me le présentez-vous ?

Tentatoo – Mais parce que vous étiez curieux de savoir s'il existait ! Ne trouvez-vous pas intéressant de savoir qu'il existe ?

Sepatoo – Si, bien sûr. Aussi intéressant que de savoir qu'il existe des systèmes permettant de lire dans les pensées, mais qu'on ne peut utiliser dans le domaine grand public pour d'obscures raisons.

Tentatoo – Je trouve l'analogie pour le moins curieuse. Un jour sans doute, cette information vous servira. Mais je ne vais pas vous faire languir plus longtemps, et suis d'accord avec vous : ce procédé n'est pas très souple pour une utilisation un tant soi peu professionnelle, où l'on pourrait vouloir choisir facilement la fréquence d'émission. C'est pourquoi on préfère utiliser une autre méthode, mettant en œuvre un quartz unique, associé à un synthétiseur de fréquence.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

4.3 Oscillateur à synthèse de fréquence

Sepatoo – J'ai déjà entendu un ami musicien, qui joue de la musique sur un clavier électronique, me parler un jour de synthèse de fréquence. Y aurait-il un quelconque rapport avec nos histoires d'émetteur ?

Tentatoo – Tout à fait. Dans les deux cas, le terme *synthèse de fréquence* désigne l'élaboration d'une ou de plusieurs fréquences à partir d'une seule fréquence fixe. En réalité, dans ces deux contextes précis, clavier électronique et émetteur FM, on est en mesure de créer plusieurs fréquences très stables à partir d'un seul oscillateur très stable. Pour l'instrument de musique, on peut vouloir créer les 12 notes d'une octave à partir d'un seul oscillateur, qui peuvent éventuellement être jouées en même temps si l'instrument est de type polyphonique. Pour l'émetteur FM en revanche, on veut pouvoir disposer de plusieurs fréquences, mais une seule à la fois est cependant réellement utilisée.

Sepatoo – Je crois comprendre. Si l'on veut changer la fréquence d'émission d'un émetteur dont l'oscillateur est piloté par un quartz, comme dans le schéma précédent, on est obligé de changer le quartz, et il faut autant de quartz que de valeurs de fréquences d'émission désirées. Alors qu'avec un synthétiseur de fréquence, on n'utilise un seul quartz, et en divisant sa fréquence à l'aide d'un compteur, on peut obtenir la fréquence que l'on veut en changeant simplement le rapport de division du compteur. Pareil pour le clavier de musique, qui avec cette méthode, ne nécessite pas la présence d'un quartz par note.

Tentatoo – Vous avez compris le principe général, et l'approche du compteur n'est pas mauvaise. Cependant, ce n'est pas aussi simple que cela, nous allons voir pourquoi.

Sepatoo – Pourquoi ne serait-ce pas si simple ? Ne peut-on donc pas obtenir avec un compteur, le rapport de division que l'on désire ? Nous avons bien vu qu'il était possible d'obtenir un signal de 400 Hz en divisant par 190, un signal de 76 kHz.

Tentatoo – Si, et sur ce point vous avez totalement raison. Mais vous parlez de diviser la fréquence d'un oscillateur piloté par quartz, par une valeur *entière* quelconque pour obtenir toutes les fréquences désirées. Présentez-moi donc un exemple de votre procédé, sachant que je veux pouvoir émettre sur une fréquence de 99,5 MHz, de 103,7 MHz ou de 107,2 MHz. Quelle valeur de quartz dois-je utiliser ?

Sepatoo – Mais c'est très simple, j'ai appris cela en mathématique dès mon plus jeune âge. Il suffit de trouver le dénominateur commun.

Tentatoo – Je vous laisse continuer.

Sepatoo – Il suffit de multiplier les trois valeurs désirées entre elles, et nous serons sûrs de pouvoir retrouver n'importe laquelle par division par les autres valeurs. Dans notre cas, il nous faut un oscillateur de fréquence 1 106 105,7 MHz, dont nous pourrons diviser la fréquence par 11 116 pour obtenir 99,5 MHz. Fréquence que nous pouvons aussi diviser par 10 318 pour obtenir 107,2 MHz, ou encore par 10 666 pour obtenir 103,7 MHz.

Tentatoo – Votre procédé fonctionne en théorie, et encore, en acceptant un arrondissement des valeurs. Mais pouvez-vous me citer un revendeur de

http://fribok.blogspot.com/

composants qui accepterait de vous vendre un quartz vibrant à la fréquence de 1 106 105,7 MHz, ce qui correspond tout de même à la coquette valeur de 1 106,1057 GHz ou encore de 1,1061057 THz ?

Sepatoo – Cette fréquence me semble finalement plutôt élevée.

Tentatoo – Je ne vous le fais pas dire ! Je préfère vous arrêter tout de suite sur votre lancée, vous voyez bien que ce n'est pas la bonne solution. À quelle fréquence auriez-vous ainsi accepté de monter si je vous avais dit que je voulais disposer de toutes les fréquences d'émission comprises entre 88 MHz et 108 MHz, par pas de 100 kHz ?

Sepatoo – Oh, mais cela fait 200 valeurs différentes ! Je crois effectivement qu'il faut trouver une autre approche.

Tentatoo – Voulez-vous bien réfléchir à une autre approche, je vous prie ?

Sepatoo – Si vous me le permettez, je préfère me reposer un peu. Vous savez, tous ces chiffres et calculs me donnent un peu la nausée. Je veux bien vous laisser la parole, car je pense ne pas vous avoir laissé beaucoup de temps pour vous exprimer depuis un bon moment déjà.

Tentatoo – Soit, je vais donc vous parler d'un procédé plus raisonnable que le vôtre, et qui surtout pourra être mis en pratique. Regardez donc le synoptique de la **figure 4.3**, et dites-moi ce que vous en comprenez.

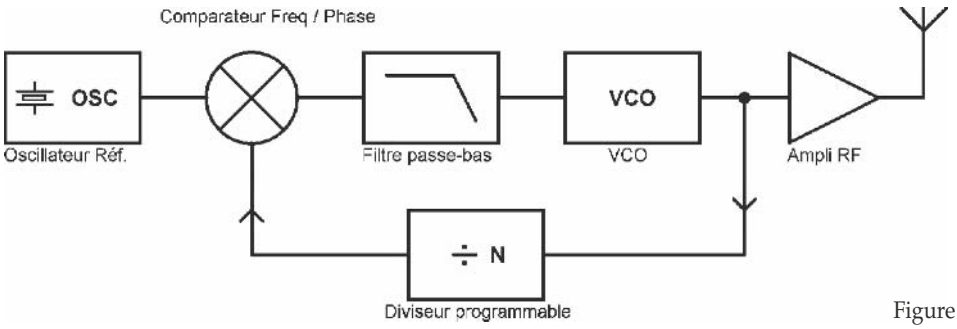


Figure 4.3

Sepatoo – Il ressemble beaucoup au synoptique déjà vu pour la production du signal 76 kHz avec un VCO. Mais là, le diviseur par 190 est remplacé par un diviseur programmable. J'en déduis tout naturellement que c'est bien plus difficile à comprendre.

Tentatoo – Allons Sepatoo, faites un petit effort, je vous prie.

Sepatoo – Je ne vois pas comment je pourrais comprendre le fonctionnement de ce montage alors que je ne sais même pas ce que signifie le rectangle marqué Diviseur programmable, qui nécessite peut-être un PC.

Tentatoo – C'est plus simple que ça. Il s'agit simplement d'un diviseur, constitué d'un ou de plusieurs circuits intégrés, dont le facteur de division peut être librement choisi. Maintenant que vous savez ce qu'est un diviseur programmable, pouvez-vous m'en dire plus ? Je pense que les autres petits dessins ne sont plus trop mystérieux pour vous, en supposant qu'ils l'aient déjà été.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Je commence à entrevoir la finalité de ce système. Nous utilisons un oscillateur de référence à quartz, qui est très précis. En parallèle, nous utilisons un autre oscillateur qui n'est pas stabilisé par quartz, mais dont la fréquence peut être ajustée grâce à une tension continue, c'est le VCO. Si la fréquence du VCO n'est pas parfaitement égale à la fréquence de l'oscillateur de référence, la tension de commande du VCO est modifiée pour que ce dernier modifie sa fréquence dans le bon sens. Est-ce bien cela ?

Tentatoo – Vous y êtes presque. Ce n'est pas la fréquence du VCO qui est comparée à la fréquence de référence, mais la fréquence du VCO divisée par une certaine valeur.

Sepatoo – Ah, effectivement, j'avais oublié le diviseur. Mais au fait, pourquoi ne pas comparer directement la fréquence du VCO avec celle de l'oscillateur de référence ?

Tentatoo – Cela serait tout à fait possible avec les composants électroniques qui existent aujourd'hui, mais présenterait moins d'intérêt. En insérant un diviseur dans la boucle, on peut programmer plusieurs taux de division et obtenir ainsi plusieurs fréquences possibles avec un oscillateur de référence de même valeur. Mais prenons un exemple pratique, qui devrait rendre cette belle théorie un peu plus claire. Imaginons que notre oscillateur de référence délivre un signal de fréquence 100 kHz. Notre VCO quant à lui est capable d'osciller à une fréquence comprise entre 80 MHz et 110 MHz, la fréquence dépendant directement de la valeur de la tension de commande, qui elle-même peut varier entre +2 V et +12 V. Le facteur de division de notre diviseur est fixé à 1 000. Nous supposons que l'émetteur vient tout juste d'être mis en service, et que le VCO oscille à la fréquence « libre » de 90 MHz, cette valeur étant, comme les autres citées auparavant, totalement arbitraire. La fréquence de 90 MHz est divisée par 1 000 par le diviseur, qui restitue donc un signal de 90 kHz. Vous me suivez toujours ?

Sepatoo – Oui, pour le moment, pas de difficulté.

Tentatoo – Bien. Notre comparateur de fréquence/phase va donc comparer le signal de 90 kHz avec le signal de référence fixe de 100 kHz. Il voit donc une différence de 10 kHz, qu'il va « traduire » par un signal d'erreur donné. Ce signal d'erreur va être intégré par le filtre passe-bas pour devenir une tension d'erreur continue. Cette tension d'erreur continue est appliquée au VCO et va le pousser à changer de fréquence progressivement, jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur de 100 MHz. À ce moment, le diviseur délivre un signal de fréquence 100 kHz (100 MHz divisés par 1 000), la différence avec la fréquence de l'oscillateur de référence est alors nulle. La tension d'erreur qui commande le VCO ne bouge plus, le VCO reste positionné (on dit *verrouillé*) sur cette fréquence.

Sepatoo – Tout cela n'est finalement pas si compliqué à comprendre. Et si la fréquence du VCO au démarrage du système avait été de 105 MHz, le comparateur de phase aurait produit un signal « inverse » de celui présent dans l'exemple précédent, qui aurait produit grâce au filtre passe-bas, une tension d'erreur qui aurait poussé le VCO à diminuer sa fréquence au lieu de l'augmenter.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous avez tout compris. Il reste juste à ajouter que le VCO aura toujours tendance à s'écarter un peu de la fréquence désirée, en plus ou en moins, et que ce système de bouclage va régulièrement donner un petit « coup de pouce » dans le bon sens pour que cette fréquence revienne à la bonne valeur. Un peu comme quand vous roulez sur une ligne droite : vous ne laissez jamais le volant parfaitement au centre, vous donnez de tout petits à-coups vers la gauche ou vers la droite, pour aller « en moyenne » tout droit. Les courbes de la **figure 4.6** qui sont issues du schéma de la **figure 4.4** (page suivante), montrent cela assez clairement. Vous avez même droit à une version légèrement simplifiée du schéma de la **figure 4.4** en **figure 4.5** (page suivante). Ce schéma simplifié fonctionne mieux que le schéma compliqué, ce qui devrait vous réjouir je pense. Nous verrons pourquoi un peu plus tard.

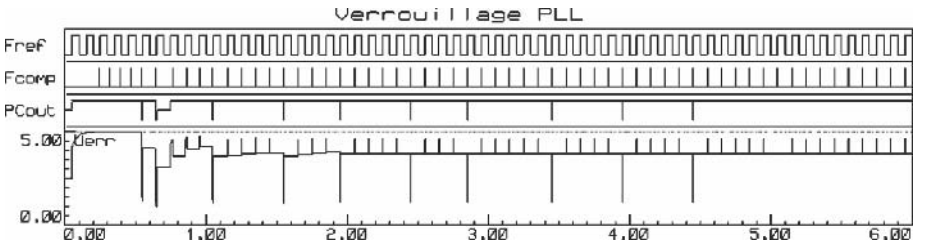


Figure 4.6

Sepatoo – …

Tentatoo – Je ne me rappelle pas vous avoir déjà vu ouvrir des yeux aussi grands. Laissez-moi vous expliquer tout cela de façon progressive, et vous verrez que tout ira bien. La courbe Fref représente le signal en sortie de l'oscillateur de référence, ce signal est très stable car l'oscillateur qui à la base a servi à le créer (U7 sur le schéma) est piloté par quartz. La courbe Fcomp correspond au signal issu du diviseur programmable constitué des compteurs prépositionnables U2 à U6 (ou U2 à U5 pour la version simplifiée). On s'aperçoit qu'au début, le signal Fcomp ne « colle » pas du tout avec le signal de référence Fref, mais qu'au bout d'un moment, les deux signaux sont en phase (le signal final est verrouillé sur le signal de référence). La courbe PCout représente les écarts de phase entre les deux signaux comparés FRef et FComp. Moins les écarts sont grands, plus cette courbe tend à rester en « position fixe ». Pour finir, la courbe Uerr correspond à la tension d'erreur issue du filtre de boucle, qui commande le VCO. Comme vous pouvez le constater, cette courbe a une allure similaire à celle de la courbe PCout, sauf qu'il s'agit d'un signal analogique. Voyez en **figures 4.7** et **4.8**, des agrandissements permettant de mieux discerner les écarts de phase que l'on a au début entre les signaux Fref (signal rectangulaire en haut) et Fcomp (signal impulsionnel en bas), à la mise sous tension du montage (**figure 4.7**). On se rend bien compte que les impulsions du bas ne sont pas toujours bien en face des fronts montant du signal de référence représenté au-dessus : le système « se cherche ».

Tentatoo – Puis les écarts de phase entre Fref (courbe supérieure) et Fcomp (courbe inférieure) diminuent au fur et à mesure que les ajustements auto-

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

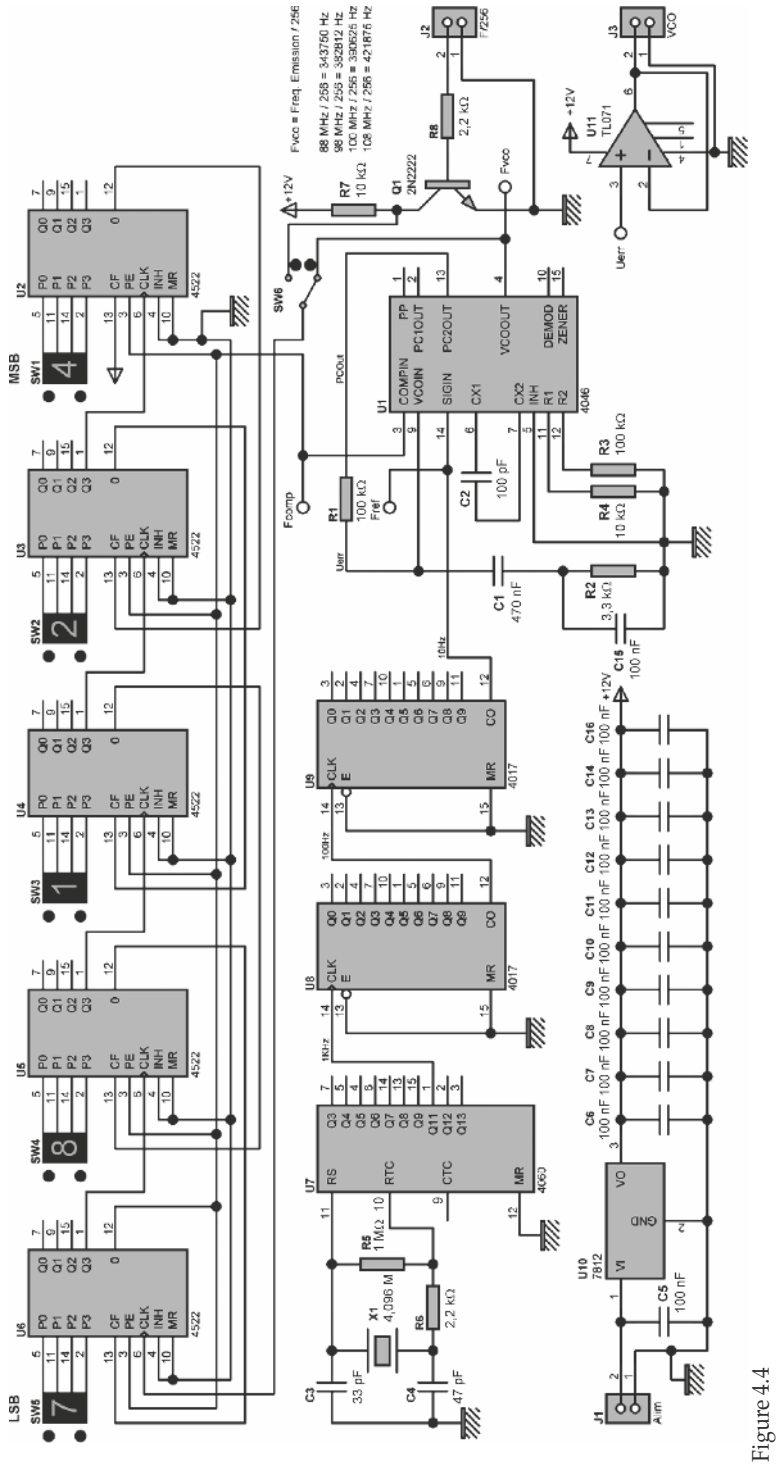


Figure 4.4

http://fribok.blogspot.com/

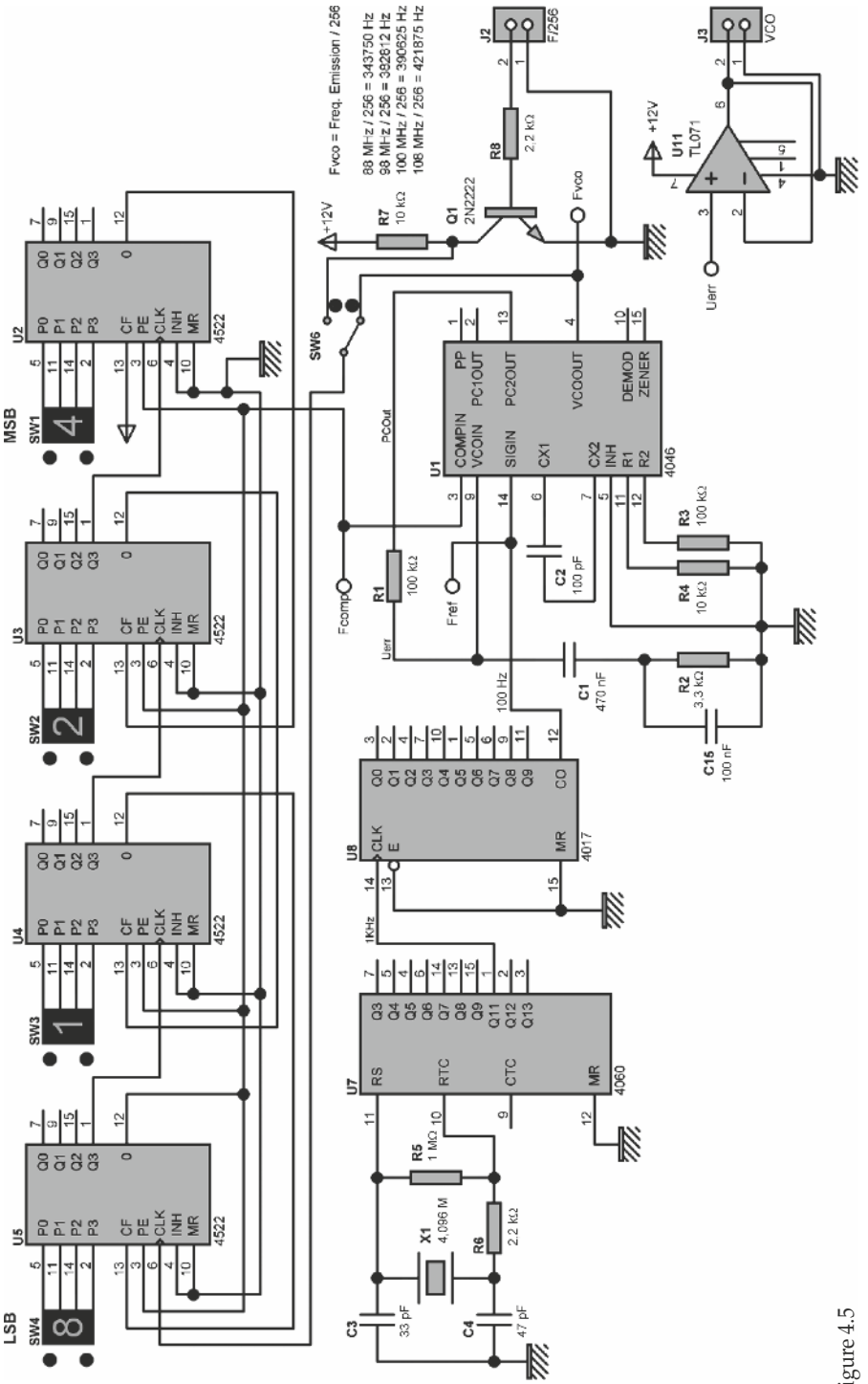


Figure 4.5

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Figure 4.7

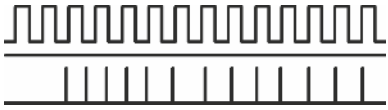
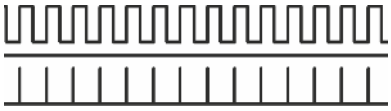


Figure 4.8



matiques en fréquence se font (**figure 4.8**). À partir de ce moment, les impulsions du bas sont en face des fronts montant du signal de référence au-dessus : le système « s'est trouvé ». Il est verrouillé.

Sepatoo – Effectivement, on voit bien sur la **figure 4.6** le signal du bas se caler progressivement sur le signal de référence du haut. C'est marrant ces petits traits qui apparaissent parfois en haut parfois en bas, sur la courbe Uerr.

Tentatoo – Ce sont les petits coups de pouce – les petits coups de volant à droite et à gauche – dont je vous parlais tout à l'heure. Ce sont ces « légères » impulsions qui permettent au VCO de rester calé sur la fréquence de référence (très stable), même si les conditions extérieures (température par exemple) avaient tendance à la faire dériver un peu.

Sepatoo – Si je comprends bien, la fréquence du signal disponible en sortie du VCO, broche 4 de U1, va dépendre du taux de division programmé par les roues codeuses SW1 à SW5 (ou SW1 à SW4 pour la version simplifiée).

Tentatoo – Tout à fait. Le taux de division permet de modifier la fréquence dans une certaine proportion. Si vous regardez bien le schéma donné en **figure 4.4**, vous constaterez que la tension d'erreur Uerr est également rendue disponible en sortie du montage, via un étage d'adaptation haute impédance d'entrée et basse impédance de sortie, qui permet de ne pas charger le filtre de boucle et donc de ne pas en perturber le fonctionnement.

Sepatoo – J'ai du mal à comprendre à quoi peut bien servir cette tension d'erreur rendue externe, puisque le VCO de ce circuit est déjà commandé sur place.

Tentatoo – La raison en est simple. Nous n'utilisons pas le VCO du circuit PLL U1, mais le VCO de notre modulateur FM, qui travaille directement dans la bande 88-108 MHz. Bien entendu, le signal que l'on va comparer à notre signal de référence devra être lié à la fréquence du signal délivré par le VCO de notre modulateur.

Sepatoo – Nous allons donc comparer la fréquence d'émission à la fréquence de référence de 10 Hz (ou de 100 Hz pour la version simplifiée) ? Mais cela va impliquer un taux de division très élevé !

Tentatoo – Cela est très juste, le taux de division devrait être très grand en procédant ainsi. De plus, les circuits CMOS que nous utilisons ne peuvent travailler à des fréquences aussi élevées que celles correspondant à la fréquence d'émission finale (bande 88 à 108 MHz). C'est pourquoi la platine du modulateur FM intègre un prédiviseur (*prescaler* en anglais) qui va déjà effectuer une division par 256 de la fréquence d'émission réelle, pour

http://fribok.blogspot.com/

« soulager » le diviseur programmable de notre platine PLL. Ainsi, les fréquences à traiter par le circuit PLL seront comprises dans une plage de 343,750 kHz (88 MHz divisé par 256) et 421,875 kHz (108 MHz divisé par 256). Ce que digèrent beaucoup mieux les circuits CMOS.

Sepatoo – Mais nous n'avons pas encore étudié notre modulateur FM !

Tentatoo – Cela ne nous empêche aucunement de comprendre le principe de base. Avant de continuer avec le modulateur FM, je tiens à préciser que le schéma de la PLL que je viens de vous montrer est un exemple de réalisation parmi plein d'autres. Il y a moyen de faire bien mieux et plus simple, mais en employant des circuits intégrés spécialisés. Nous parlerons de différents types de PLL, et du principal inconvénient présenté par ce type de circuit, quand nous aurons un peu plus de temps.

4.4 Modulateur FM

Sepatoo – J'ai hâte de voir à quoi ressemble votre schéma de modulateur FM. J'imagine qu'il ressemble un peu à l'émetteur FM que j'avais réalisé par le passé, hormis le fait que vous avez dû ajouter quelques transistors pour obtenir une puissance de sortie un peu plus confortable.

Tentatoo – Il est possible aussi qu'il diffère un peu pour le reste. Mais je vous laisse le soin de vous faire votre propre opinion là-dessus, en consultant le schéma de la **figure 4.9**.

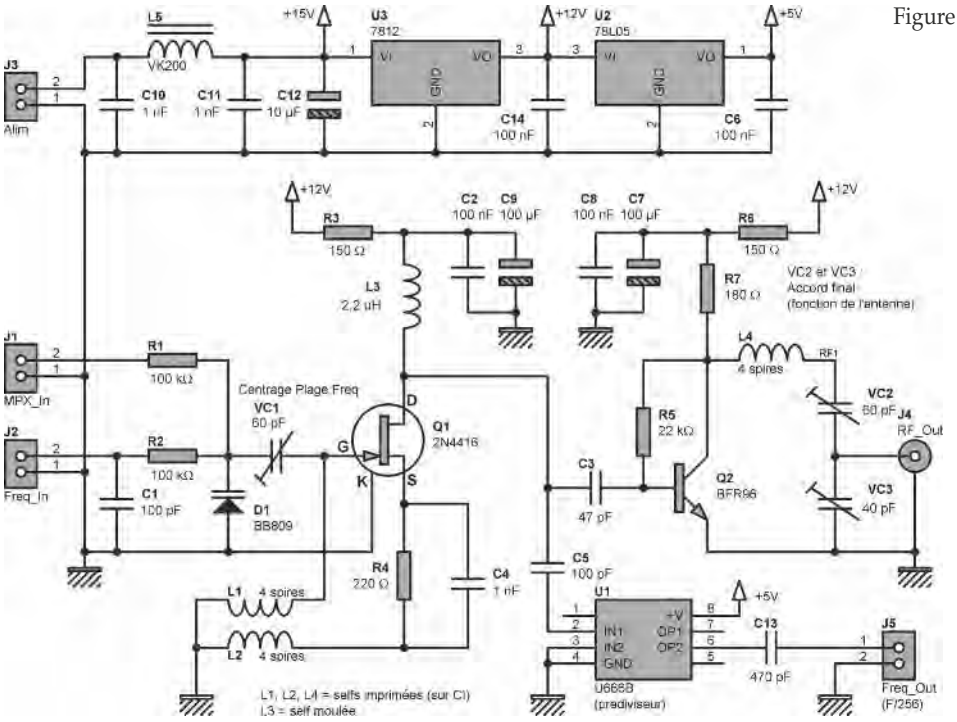


Figure 4.9

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

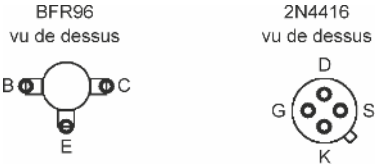


Figure 4.10.
Brochage des transistors du modulateur FM.

Sepatoo – Heu, je dois avouer que ce schéma diffère quelque peu du mien…

Tentatoo – Je m'en doutais un peu, figurez-vous. Notez que je n'ai ajouté qu'un seul transistor pour l'amplification RF, car nous n'avons pas besoin, pour nos expérimentations, de plusieurs dizaines de watts HF.

Sepatoo – Cela est une bonne chose. Je trouve même que l'étage d'amplification, que je reconnais sur la partie droite du schéma pour avoir simplement suivi le circuit en partant de la sortie antenne RF_Out (J4), est bien simple. Mais toutes ces selfs !

Tentatoo – Mais il n'y en a que cinq.

Sepatoo – QUE cinq ?

Tentatoo – Je tenais à vous faire la surprise tout à la fin, mais il me semble que je dois dès maintenant abréger vos souffrances. La self L3 est de type moulée, elle ressemble à une classique résistance à deux pattes. La self L5 s'achète également toute faite. Quant aux trois autres selfs, elles sont de type imprimées, c'est-à-dire dessinées directement sur le circuit imprimé. Vous n'aurez à en réaliser aucune pour le modulateur FM.

Sepatoo – Alors ça pour une surprise, c'en est une !

Tentatoo – Maintenant que vous avez retrouvé vos esprits, pouvez-vous essayer de me décrire le fonctionnement de ce montage ?

Sepatoo – Si l'on fait abstraction de l'amplificateur construit autour de Q2, je constate la présence de trois autres blocs fonctionnels. Tout en haut, la régulation d'alimentation avec les deux régulateurs U3 et U2. En bas à gauche, l'oscillateur HF élaboré autour de Q1, qui entre nous soit dit me semble être un curieux phénomène à pattes. Puis en bas à droite, le prédiviseur U1 (c'est marqué en dessous, sinon, je ne sais pas comment j'aurais pu deviner à quoi ce circuit pouvait bien servir).

Tentatoo – Voilà une rapide et bonne analyse globale du schéma. Vous voyez qu'en décomposant l'ensemble, on retrouve toujours des circuits simples. Qu'avez-vous d'autre à dire pour le bloc de régulation d'alimentation ?

Sepatoo – Je ne vois pas trop quoi ajouter. Il est fait usage de régulateurs intégrés, un délivrant une tension de 12 V et qui sert pour les sections oscillateur et amplificateur, un autre délivrant une tension de 5 V et dédié à l'alimentation du prédiviseur U666. Je suppose donc que ce dernier ne peut fonctionner à 12 V, sinon, on ne se serait pas embêté à ajouter un tel composant.

Tentatoo – Très bien, il s'agit bien de cela. Mais vous ne m'avez pas parlé de la self L5.

Sepatoo – Eh bien, je ne saurais trop vous dire. Elle doit certainement former un circuit d'accord quelconque pour assurer un bon fonctionnement de l'alimentation.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Réponse un peu vague, mais qui me satisfait toutefois en partie. Cette self sert à empêcher les signaux RF présents sur la platine, de remonter vers l'alimentation secteur, et d'aller polluer les autres circuits. Il s'agit d'une self de choc, constituée d'une perle ferrite percée de plusieurs trous, dans laquelle on fait passer quelques tours de fil électrique. Pour une tension continue, cela ne représente rien d'autre qu'un simple bout de fil, alors qu'en HF, et avec les condensateurs C10 et C11, cela représente un très beau bouchon. Ou un filtre, si vous préférez. Vous pouvez voir en **figure 4.11** la forme d'une telle self de choc.

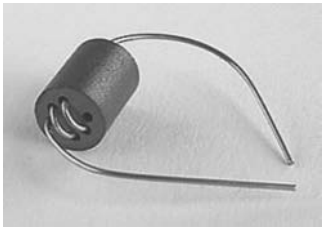


Figure 4.11

Sepatoo – C'est donc ça, une self de choc. J'en avais déjà entendu parler, et l'imaginais beaucoup plus grosse.

Tentatoo – Il en existe de différentes tailles, celle-ci est assez commune et assez grosse, toutes relations gardées. Ne soyez pas surpris d'en rencontrer souvent dans les montages haute fréquence, surtout sur les trajets d'alimentation. Elles sont parfois plus petites et le fil électrique ne fait pas plusieurs tours mais un seul tour. Maintenant, que pouvez-vous dire de plus sur l'oscillateur ?

Sepatoo – Je ne suis pas très à l'aise avec ce genre de circuit, aussi je préfère vous laisser la parole.

Tentatoo – Bien, comme vous voulez. L'oscillateur utilise le transistor Q1, qui est de type FET (pour *Field Effect Transistor*, transistor à effet de champ). Dans l'application qui nous concerne, ce type de transistor autorise une très bonne pureté spectrale, c'est-à-dire qu'il génère un signal sinusoïdal très peu distordu, et donc avec peu d'harmoniques. Ce qui est toujours ça de moins à traiter (à éliminer) par la suite. Cette grande pureté spectrale est recherchée ici car nous voulons produire une onde porteuse directement dans la bande FM 88 MHz à 108 MHz. J'ai utilisé un transistor FET modèle 2N4416, mais le transistor FET modèle J310 fonctionne aussi très très bien dans cette plage de fréquences et produit également une onde très pure. Dans d'autres circonstances, on aurait pu préférer générer une porteuse autour de 50 MHz, et la multiplier ensuite en filtrant (en gardant) l'harmonique 2 (100 MHz). Dans ce second cas, le signal d'origine à 50 MHz n'aurait pas intérêt à être pur, ou alors il faudrait utiliser un étage supplémentaire non linéaire pour provoquer volontairement une forte distorsion et obtenir le multiple désiré avec un bon niveau électrique.

Sepatoo – Je découvre aujourd'hui une nouvelle méthode permettant de multiplier une fréquence.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Oui, en filtrant une harmonique de rang deux (harmonique H2), de rang trois (harmonique H3) ou plus, on peut « multiplier » une fréquence par deux, par trois ou plus. Cela devient un peu plus délicat au-delà de trois. Pour revenir à notre cas, notre oscillateur délivre un signal directement à la fréquence d'émission. L'oscillation est assurée par couplage inductif entre Source (borne S) et Gate (borne G) du FET. D'un point de vue pratique, ce sont les deux bobines L1 et L2 « imbriquées » (bobinées l'une sur l'autre) qui forment une sorte de transformateur et assurent ce couplage. La fréquence d'oscillation dépend de la valeur de ces selfs et de la valeur du condensateur situé entre Gate et masse.

Sepatoo – Mais je ne vois pas de condensateur câblé entre Gate du FET et masse !

Tentatoo – Il y en a un, pourtant : celui formé par le couple de composants condensateur ajustable VC1 + diode varicap D1. D1 étant, je vous le rappelle, une diode à capacité variable.

Sepatoo – Ce qui en clair veut dire que l'on peut faire varier la fréquence d'oscillation de deux manières différentes : soit en faisant varier mécaniquement la valeur du condensateur ajustable VC1, soit en appliquant une tension continue sur la diode varicap D1. Et comme les deux selfs L1 et L2 sont de type imprimées, on ne pourra pas jouer sur l'écartement de leurs spires.

Tentatoo – 20 sur 20. J'aurais dû insister un peu et vous laisser parler dès le début. Pour en finir sur cette section oscillateur, j'aimerais que vous m'expliquiez la présence des deux résistances R1 et R2.

Sepatoo – Ces résistances permettent de limiter le courant dans la diode varicap D1, qui naît quand on applique la tension de commande de la fréquence d'oscillation du VCO.

Tentatoo – Je suis heureux de voir que vous avez appliqué le terme VCO à cette section oscillateur, avant que je ne le fasse moi-même. Votre réponse est juste, mais pourquoi deux résistances ?

Sepatoo – Une pour un réglage grossier et l'autre pour un réglage fin ?

Tentatoo – Vous n'auriez pas dit cela si vous aviez lu les annotations situées sous les deux connecteurs J1 et J2, respectivement raccordés aux résistances R1 et R2. Je vous laisse corriger de vous-même.

Sepatoo – Ah oui. J2 amène la tension continue qui détermine la fréquence du VCO, et J1 reçoit le signal MPX comportant les composantes audio et le pilote 19 kHz. Mais dites-moi, ces deux sources de commande ne vont-elles pas interagir et provoquer des drôles de variations de fréquence ?

Tentatoo – Si tel est le cas, en quoi cela est-il gênant ? La tension continue utilisée pour fixer la fréquence d'émission est censée être stable. Ce qui signifie qu'en l'absence de tension sur l'entrée MPX_In (J1), la fréquence d'émission ne bouge pas. Par contre, dès que l'on applique un signal MPX sur l'entrée MPX_In, la fréquence d'émission varie au rythme des variations d'amplitude du signal MPX.

Sepatoo – J'ai un peu de mal à suivre. Si la fréquence d'émission varie avec le signal MPX, il va falloir la rattraper continuellement.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Attention de ne pas vous tromper d'échelle ! La tension continue déterminant la fréquence d'émission (par exemple 99 MHz ou 103,5 MHz) est de l'ordre de quelques volts, alors que l'amplitude du signal MPX est de l'ordre de quelques millivolts ou quelques dizaines de millivolts. Les variations de fréquence occasionnées par le signal MPX sont faibles, en regard de la plage possible des variations. N'oubliez pas que nous en sommes à la transformation de la variation de l'amplitude d'un signal électrique en modulation (variation) de fréquence.

Sepatoo – Mais tout de même, ces variations existent bien, vous le dites vous-même ! Notre platine PLL va continuellement chercher à rattraper la fréquence d'émission désirée, et le récepteur ne verra aucune variation et ne produira aucun son. Ou alors ai-je manqué un épisode ?

Tentatoo – Vous n'avez rien manqué et votre vision des choses est très juste. Il vous manquait juste un détail, de grande importance. Comme nous l'avons vu, le circuit PLL possède un filtre de boucle, qui intègre (moyenne) les variations de fréquence ou de phase. Tout l'art de ce filtre consiste à savoir faire la différence entre les variations lentes de fréquence liées à la dérive « naturelle » du VCO ou à un changement voulu de fréquence d'émission, et les variations rapides de fréquence liées au signal MPX. En d'autres termes, les composants du filtre de boucle sont choisis pour que la PLL ne réagisse pas aux variations de fréquence liées aux signaux utiles modulants. Tout cela n'est possible que si la constante de temps du filtre est correctement choisie. Sa valeur doit être de cinq fois la période du signal modulant de plus basse fréquence, qui est typiquement de 40 Hz en radio FM. La période d'un signal de 40 Hz étant de 25 ms, la constance de temps du filtre de boucle doit être de 125 ms (5 fois 25 ms). Si ce point est respecté, la PLL n'agira pas comme une folle sur le signal modulant, et le récepteur restituera bien tout ce que l'auditeur attend de lui.

Sepatoo – Me voilà rassuré. Il faut dire que sans cette explication de dernière minute, mon cerveau commençait à lancer des signaux d'alarme.

Tentatoo – Je suis heureux que la pression ait pu rapidement redescendre à un seuil non critique. Avez-vous d'autres questions concernant ce modulateur ?

Sepatoo – Oui, une dernière : à quoi servent les condensateurs ajustables VC2 et VC3 ? Vous avez indiqué « Accord final, fonction de l'antenne » sur le schéma, mais je ne saisis pas bien de quoi il s'agit, puisque l'accord en fréquence est effectué au niveau de l'oscillateur.

Tentatoo – Il ne s'agit pas là d'un accord de fréquence au sens où vous l'entendez, mais d'un accord d'adaptation d'impédance. L'antenne que vous allez raccorder à la sortie de la platine modulateur, sera liée par un câble. Et l'antenne, son câble, ainsi que l'environnement physique, ne sont pas prévisibles. En tout cas, ces éléments ne seront pas de même constitution chez vous et chez moi. Ces deux condensateurs permettent de s'adapter à différentes « configurations » d'antenne, ils devront être ajustés pour obtenir une puissance maximale rayonnée au niveau de l'antenne.

Sepatoo – Me suffira-t-il de brancher un appareil de mesure en sortie RF pour effectuer ce réglage ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous le pouvez… si vous en possédez un permettant de faire une mesure sur un signal RF, ce qui n'est pas le cas de la majorité des multimètres. Le cas échéant, vous pouvez réaliser un petit détecteur RF relié à un galvanomètre sensible, au travers d'une diode de redressement et d'un condensateur de filtrage, comme présenté à la **figure 4.12**. Ce petit circuit permet d'effectuer les réglages sans contact physique avec la sortie RF, ce qui parfois permet plus de justesse dans les réglages d'un émetteur. Nous verrons cela en temps utile.

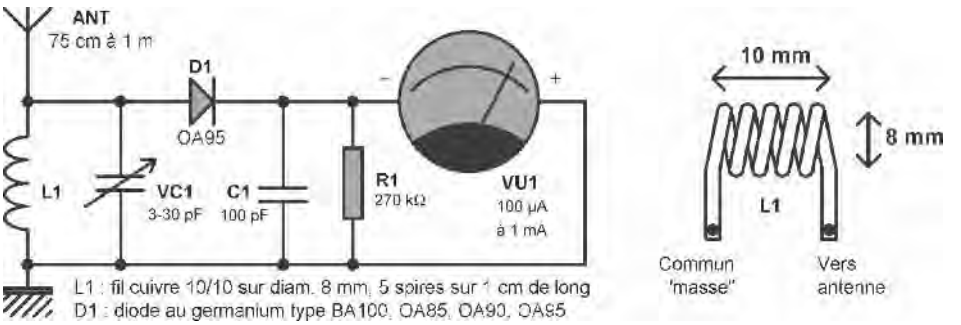


Figure 4.12

Sepatoo – Très bien. Quelle puissance de sortie pouvons-nous attendre de notre platine modulateur ?

Tentatoo – Quelques mW, ce qui est suffisant pour des expérimentations très localisées. Mais je vous vois venir, vous aimeriez bien savoir comment « monter » un peu tout cela ?

Sepatoo – J'avoue que l'idée m'a chatouillé un instant.

http://fribok.blogspot.com/

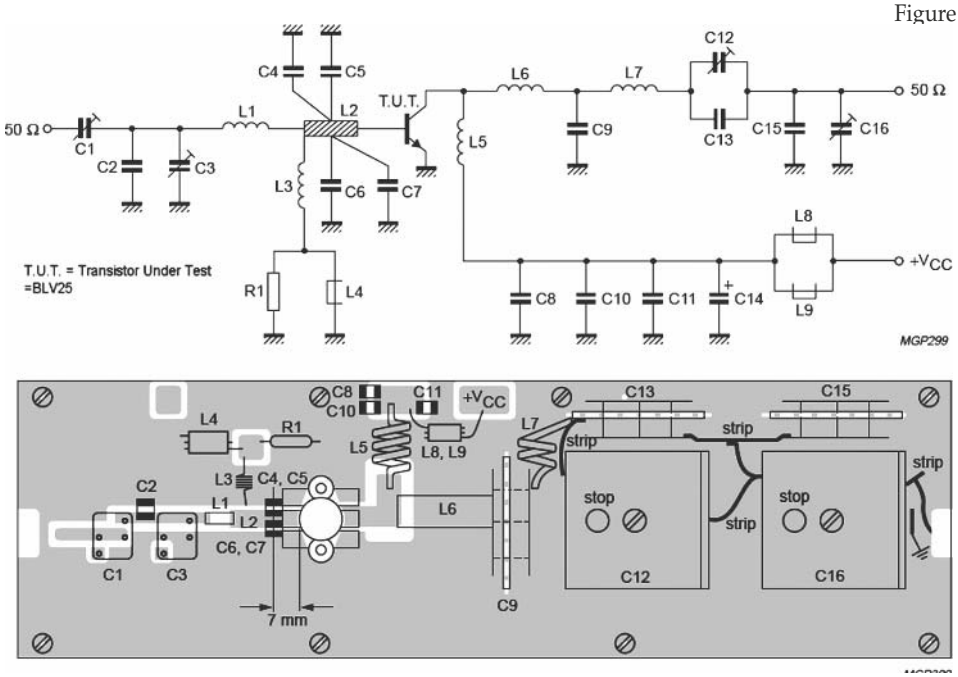
5 L'AMPLIFICATION RF

Tentatoo – Nous allons donc parler un peu de l'amplification de puissance en haute fréquence. Comme vous le verrez, les choses ne sont pas forcément très simples à appréhender par un débutant, surtout quand les puissances mises en jeu sont importantes. Par importantes, j'entends toute puissance qui requiert l'utilisation de plusieurs transistors de forte puissance. Pour fixer un ordre de grandeur, disons qu'un seul transistor RF de puissance peut permettre de grimper jusqu'à 100 ou 150 W. Au-delà de cette puissance, il est plus fréquent de recourir à l'assemblage de plusieurs transistors.

Sepatoo – Il existe donc des transistors capables à eux seuls de délivrer une puissance RF de 100 ou 150 W ?

Tentatoo – Mais tout à fait. Le transistor BLV25, capable de délivrer 175 W à lui seul, est un exemple de transistor capable d'une telle prouesse. Voyez en **figure 5.1** un schéma électronique mettant en œuvre un transistor de ce

Figure 5.1



http://fribok.blogspot.com/

type, extrait du document technique (*datasheet*) du fabricant Philips. L'implantation physique des composants correspondant au schéma est également proposée par le fabricant.

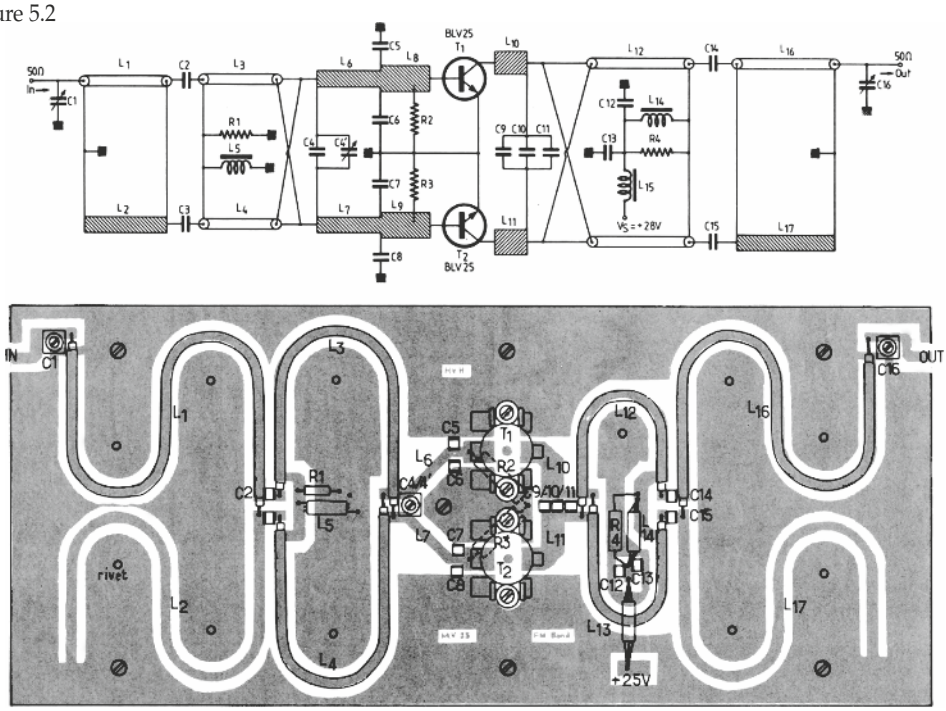
Sepatoo – Le circuit imprimé me semble bizarrement fait, on a l'impression que des connexions de composants ne sont pas établies.

Tentatoo – En réalité, les composants sont soudés directement sur le cuivre, les pattes ne traversent pas le circuit imprimé. Cela permet de réduire au maximum la longueur des liaisons, il s'agit d'une technique très employée dans les montages qui fonctionnent à des fréquences élevées. Maintenant, observez attentivement le circuit imprimé, et dites-moi si vous reconnaissez un composant que nous avons utilisé dans notre modulateur.

Sepatoo – Certes pas le transistor à six pattes, je m'en souviendrais. Ni les drôles de condensateurs. Ah, je vois ! La self de choc L4.

Tentatoo – Exact. Et si vous regardez encore un peu, vous verrez qu'il n'y en a pas qu'une. Voici maintenant en **figure 5.2**, un autre schéma mettant en œuvre deux transistors du même type que dans le schéma précédant, autorisant cette fois une puissance de sortie de 300 W pour 30 W en entrée. L'implantation des composants du second schéma vous permet de vous faire une idée sur la méthode de couplage des deux transistors (les valeurs des composants ne sont pas indiquées par respect du droit d'auteur, ce schéma a été publié dans une revue d'électronique en 1983). Notons en passant qu'il existe aussi des transistors doubles montés dans un seul boîtier, et qu'un seul

Figure 5.2



http://fribok.blogspot.com/

boîtier de ce type peut lui aussi suffire pour confectionner un amplificateur de 300 W.

Sepatoo – 150 W avec un transistor simple, je n'aurais pas imaginé cela possible. Pour quelle raison la réalisation d'un amplificateur de puissance supérieure à 150 W est-elle donc compliquée à ce point ? Devons-nous utiliser des hautes tensions comme dans un amplificateur à tubes électroniques ?

5.1 Difficultés majeures de l'amplification RF de forte puissance

Tentatoo – Non, il ne s'agit pas de cela, les tensions d'alimentation sont généralement limitées à quelques dizaines de volts. Le fait est que, plus on monte en fréquence, plus la longueur des liaisons électriques devient critique. Si 10 cm de câble (ou de piste imprimée) ne causent guère de soucis dans un amplificateur BF, 10 cm de liaison ne sont pas forcément sans conséquence dans un amplificateur RF.

Sepatoo – À cause des pertes qui sont plus importantes ?

Tentatoo – Dans la bande de fréquences 88-108 MHz qui nous intéresse, une liaison de 10 cm n'apporte pas une atténuation si grande qu'elle puisse poser un réel problème. On peut en effet utiliser des câbles de très bonne qualité, qui pour des distances modestes, apportent une atténuation relativement négligeable. Les points « critiques » sont plutôt ceux concernant la polarisation des transistors RF – polarisation qui permet un bon équilibrage des courants entre eux et assurant ainsi une bonne répartition des puissances délivrées par chacun, les adaptations d'impédance et les mises en phase.

Sepatoo – Mise en phase ? Je comprends que l'on puisse rencontrer des problèmes de phase avec les deux voies d'un signal audio stéréo. Mais avec un seul signal RF, j'avoue être perdu, car je ne vois nullement comment on peut rencontrer un tel problème !

Tentatoo – Il est vrai que je vous ai parlé d'amplification RF sans vous donner un ordre de grandeur des puissances mises en jeu, et je me dois d'être plus précis avant de continuer. L'amplification RF est nécessaire pour disposer d'une puissance d'émission confortable, et cette puissance d'émission peut s'étaler de 1 W à 10 kW, ce qui d'un bout à l'autre de cette échelle, ne demande pas les mêmes moyens techniques, vous devez vous en douter un peu.

Sepatoo – Je veux bien vous croire, car ayant observé nombre de schémas d'amplificateurs BF, je me suis bien rendu compte de la différence entre un amplificateur BF de 1 W et un amplificateur BF de 1 kW. Celui de 1 kW utilise beaucoup plus de transistors de puissance, qui se partagent le travail.

Tentatoo – Les choses ne sont guère différentes dans le domaine RF, il faut aussi un plus grand nombre de transistors pour des puissances plus importantes. Une différence de taille existe cependant pour le domaine RF : il faut utiliser des transistors qui acceptent de travailler en même temps à des fréquences élevées et à des puissances élevées. Ces transistors existent bien sûr, on l'a vu il y a quelques minutes, et ce sont grâce à eux que les émetteurs FM de très forte puissance (10 kW et plus) existent. Mais la fabrication de tels transistors demande plus de travail de la part des fabricants, et pour

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

cette raison, ils coûtent plus chers que des transistors de puissance de type basse fréquence. En outre, ils sont plus sensibles à leur « environnement » et risquent plus leur vie en cas de mauvais réglage ou défaut externe inattendu. Ces transistors, de par leur prix, ne sont guère répandus dans les circuits de distribution grand public. Et encore, je ne parle pas de l'appariement des transistors, qui consiste à les trier pour associer entre eux ceux qui présentent des caractéristiques électriques proches. L'appariement, qui nécessite plusieurs vérifications et mesures, permet d'obtenir des paires de transistors qui fonctionneront très bien ensemble (couplés), mais cela occasionne bien entendu un surcoût à la vente qui est loin d'être négligeable.

Sepatoo – Mais en prenant toutes les précautions d'usage, j'imagine que le ou les transistors RF ne risquent pas grand-chose, tout de même ?

Tentatoo – Cela dépend principalement de la puissance de sortie que l'on veut finalement obtenir. Une puissance de quelques watts peut être obtenue avec un seul transistor RF coûtant quelques euros, et le risque de le voir partir en fumée dès la mise sous tension est assez limité (mais existe bel et bien). Mais les risques de voir partir en fumée les transistors d'un amplificateur de 500 W insuffisamment protégé sont très loin d'être nuls.

Sepatoo – Dans le cas d'un amplificateur de forte puissance, n'y a-t-il pas que le dernier transistor à être réellement exposé ?

Tentatoo – Vous parliez tout à l'heure d'amplificateurs BF de forte puissance dont l'étage de sortie est constitué de plusieurs transistors de puissance. Ces transistors sont très souvent montés en parallèle afin de contribuer chacun un petit peu à la puissance totale. Dans un amplificateur RF de forte puissance, on opère selon un principe similaire : on monte non pas plusieurs transistors en parallèle, mais plusieurs amplificateurs en parallèle, chaque amplificateur pouvant lui-même comporter un ou plusieurs transistors RF de puissance. Ainsi, pour une puissance RF de 1 kW, il est tout à fait courant d'assembler quatre amplificateurs de 250 W chacun, chaque amplificateur pouvant comporter deux transistors travaillant de pair. On parle alors de *couplage* d'amplificateurs. Un défaut en sortie finale peut se traduire par la dégradation d'un sous-ensemble, qui entraîne un déséquilibre de fonctionnement sur les autres sous-ensembles, qui peuvent alors à leur tour se dégrader de façon irréversible si on ne se rend pas compte de la panne assez rapidement.

5.2 Couplages de plusieurs amplificateurs RF

Sepatoo – Je ne comprends toujours pas pourquoi le couplage de ces amplificateurs pose problème. Ne peut-on pas utiliser des résistances d'équilibrage sur chaque transistor se partageant le courant de sortie, comme on le voit parfois sur les amplificateurs BF ou sur les alimentations secteur de puissance ?

Tentatoo – Le problème de la répartition des courants dans chaque amplificateur est une chose. Mais la phase en est une autre. Comme je vous le disais tout à l'heure, le moindre centimètre de piste ou de câble a son importance dans les hautes fréquences. Regardez le synoptique de la **figure 5.3**, dans

http://fribok.blogspot.com/

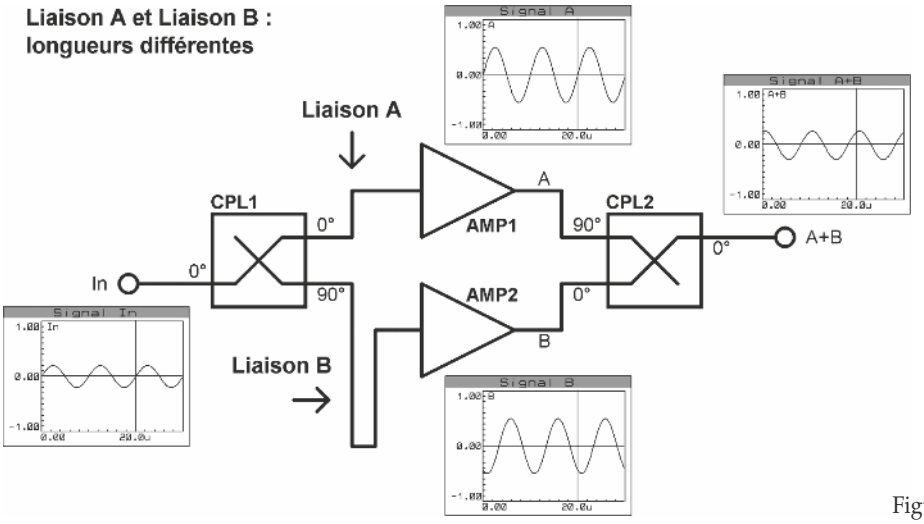


Figure 5.3

lequel la longueur de la liaison électrique entre le coupleur CPL1 et l'amplificateur AMP1 (liaison A) n'est pas identique à la longueur de la liaison électrique entre le coupleur CPL1 et l'amplificateur AMP2 (liaison B). Ces différences de longueur occasionnent un déphasage anormal entre les signaux issus des amplificateurs AMP1 et AMP2. À la sortie du coupleur CPL2, l'addition des signaux issus des deux amplificateurs ne se fait pas bien, et on perd énormément de puissance. Le résultat est catastrophique.

Sepatoo – Je ne souhaite nullement vous couper dans votre élan, mais si je reconnais le symbole des amplificateurs, je ne reconnais nullement celui de ce que vous appelez des coupleurs.

Tentatoo – Vous avez raison, je suis allé un peu trop vite et vous demande de m'en excuser. Le *coupleur* appelé CPL1 sur le schéma est un élément qui permet de séparer un signal électrique en deux signaux électriques identiques en amplitude. Chacun d'eux est de puissance moitié de celle appliquée à l'entrée du coupleur : si l'on entre 50 W, il ressort deux signaux de 25 W chacun. Vous pouvez voir une connexion du coupleur qui n'est reliée à rien, en réalité cette connexion est reliée à une résistance elle-même connectée à la masse. Cette résistance est interne ou externe au coupleur, et n'est pas représentée ici dans le seul souci de simplification. Le coupleur CPL2 fonctionne dans l'autre sens : il permet d'additionner deux signaux identiques en amplitude et en fréquence : si l'on applique deux signaux de 250 W, il ressort 500 W. Là aussi la résistance qu'on devrait raccorder à la connexion inutilisée n'est pas représentée. Le coupleur CPL1 peut être appelé *diviseur de puissance*, et le coupleur CPL2 peut être appelé *sommateur de puissance*. Mais pour que tout cela fonctionne bien, la phase des signaux doit être maîtrisée.

Sepatoo – Je comprends cela. Mais pourquoi ces points marqués 0° et 90° ? Cela signifie-t-il que les deux sorties du coupleur ne produisent pas des signaux en phase ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous avez tout compris, les deux sorties sont déphasées l'une de l'autre de 90° !

Sepatoo – Mais vous disiez que la phase des signaux amplifiés devait être identique.

Tentatoo – Je n'ai jamais dit cela ! J'ai dit que les phases devaient être maîtrisées. En fait, peu importe la phase qu'ont les signaux au moment de leur amplification. Ce qui importe, c'est que les phases des signaux soient identiques au moment de leur combinaison (sommation). Imaginez un seul instant que les phases soient totalement opposées au moment de la sommation (déphasage de 180° entre les deux signaux). Il s'agit d'un cas extrême, où plus aucun signal ne sort du coupleur car les deux signaux d'entrée se sont mutuellement annulés !

Sepatoo – Cela ferait beaucoup d'énergie consommée pour un résultat douteux. Tout s'éclaire pour moi, maintenant, je comprends votre petit schéma.

Tentatoo – Dans ce cas, le synoptique de la **figure 5.4** devrait être tout aussi limpide pour vous que le précédent. Dans celui-ci, les longueurs des liaisons entre le coupleur CPL1 et les deux amplificateurs (liaisons A et B) sont identiques. La sommation dans le coupleur CPL2 s'effectue correctement et on retrouve en sortie une puissance qui correspond à l'addition des puissances issues des deux amplificateurs.

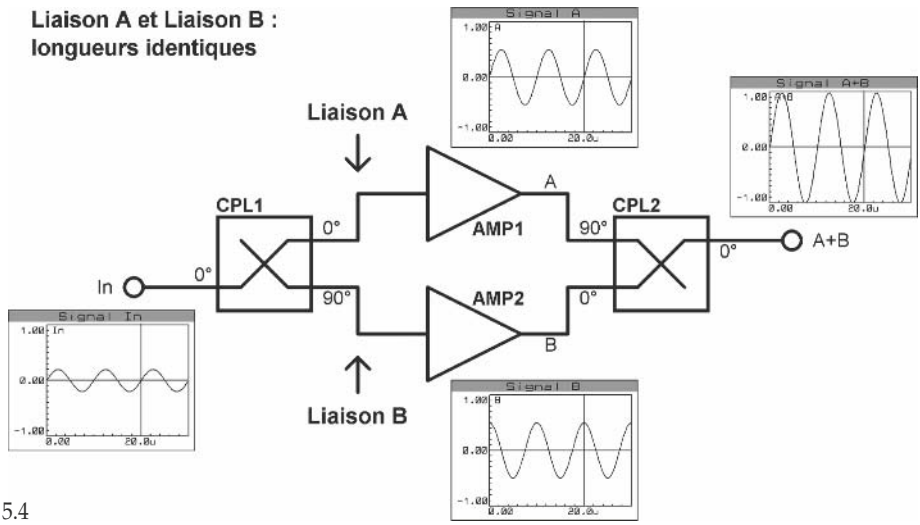


Figure 5.4

Sepatoo – Il apparaît en effet sur ce deuxième exemple que l'on a en sortie finale un signal qui est réellement amplifié par rapport à celui appliqué à l'entrée In. Mais dites-moi, si je souhaite obtenir une puissance de 1 kW avec 4 amplificateurs de 250 W, dois-je utiliser des coupleurs à 4 entrées ou 4 sorties ?

Tentatoo – Vous pouvez effectivement trouver des coupleurs 1/4, mais vous pouvez également utiliser des coupleurs 1/2 tels que ceux vus précé-

http://fribok.blogspot.com/

demment. Voici en **figure 5.5** un exemple de configuration avec 4 amplificateurs (AMP1 à AMP4) et des coupleurs 1/2 (CPL1 à CPL6). Notez en passant que plus le nombre d'amplificateurs est important, plus la puissance à fournir à l'entrée principale doit être importante, puisqu'il faut partager la source unique vers tous les amplificateurs, et que plus on partage, moins il y en a pour chacun.

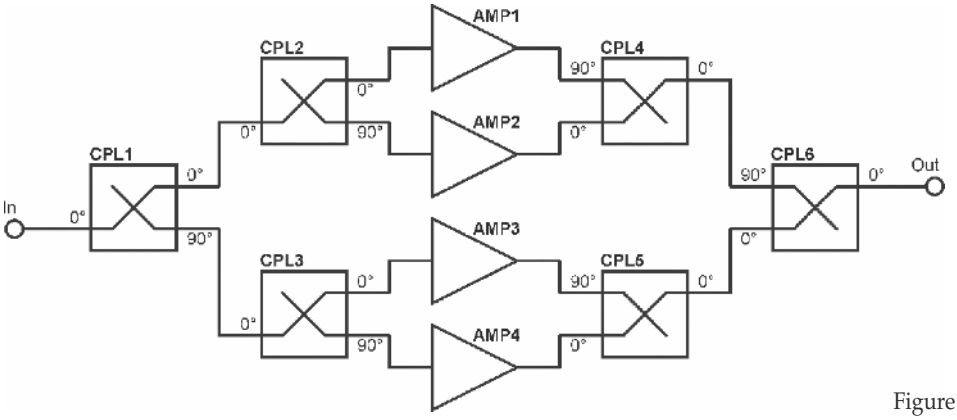


Figure 5.5

Tentatoo – Il est également possible de coupler plusieurs amplificateurs identiques à l'aide de morceaux de câble coaxial semi-rigide, à l'aide de transformateurs, ou à l'aide de lignes accordées. La **figure 5.6** montre un exemple de couplage par lignes 75 Ω, de 4 amplificateurs 100 W, permettant d'obtenir une puissance totale de 400 W.

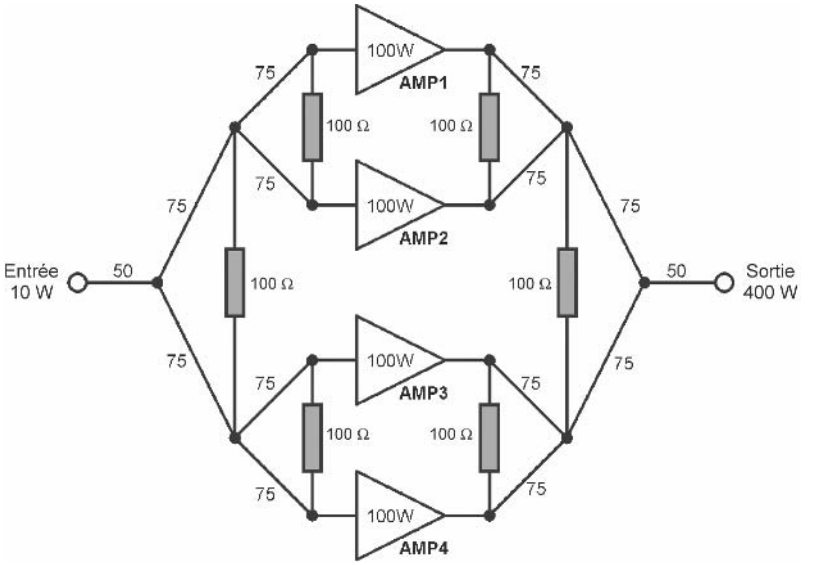


Figure 5.6

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ça commence à devenir complexe ! Je n'ose imaginer le schéma d'un amplificateur mettant en œuvre 8 amplificateurs !

Tentatoo – Pourtant cela existe et fonctionne même très bien si la conception est sérieuse. Que pensez-vous de tout cela, maintenant ?

Sepatoo – Je me dis que sur le papier, cela semble finalement assez simple.

Tentatoo – La réalisation pratique n'est pas extrêmement complexe en soi, mais requiert de l'expérience avec les signaux haute fréquence, nécessite l'utilisation de circuits imprimés de haute qualité (pour minimiser les pertes RF par absorption) et demande surtout un appareillage de mesure (qu'on appelle aussi *banc de mesure*) assez conséquent. Il est plus difficile en effet de se contenter d'un multimètre ou d'un oscilloscope dans ce domaine de fréquence et pour ces puissances. Mais si vous êtes soigneux et que vous procédez de façon intelligente au moment de la mise au point, c'est-à-dire en n'étant pas pressé de tout brancher pour « faire péter les watts », vous pourrez sans doute un jour réaliser vous-même un amplificateur de 100 W et le régler avec un simple multimètre.

Sepatoo – Vous me mettez déjà l'eau à la bouche. Mais vous dites qu'on ne peut plus se contenter d'un oscilloscope pour cette bande de fréquence ; pourtant, j'ai déjà vu des oscilloscopes qui montent à plus de 100 MHz, et que l'on peut encore utiliser sans problème à une fréquence de 150 MHz.

Tentatoo – Je vous crois bien. Mais comment observer de façon fiable, des signaux à 200 MHz, 300 MHz ou 400 MHz ?

Sepatoo – Quelle drôle d'idée, alors que notre émetteur travaille juste dans la bande 88-108 MHz !

Tentatoo – Vous oubliez les harmoniques, mon cher ami ! Et dans notre cas, les harmoniques peuvent être très gênantes et doivent être impérativement filtrées. Un oscilloscope dont la bande passante est trop limitée par rapport aux signaux à observer, peut « cacher » des choses importantes.

5.3 Filtrage des harmoniques RF

Sepatoo – J'ai un vague souvenir du filtrage des harmoniques dans un orgue électronique sur lequel on m'avait laissé jouer quand j'étais enfant. En filtrant plus ou moins certaines harmoniques, il était possible de reproduire plusieurs sons d'instruments différents. S'agit-il ici du même genre d'harmoniques ?

Tentatoo – Les harmoniques sont des harmoniques, on ne peut pas vraiment parler de genre. Celles auxquelles vous faites allusion sont situées dans le domaine audible, alors que celles dont il est question ici sont du domaine des radiofréquences, et ne sont donc pas audibles.

Sepatoo – Mais qu'est exactement une harmonique ? Je sais qu'il en existe plusieurs, des paires, des impaires, mais n'arrive pas bien à comprendre comment elles sont créées ou d'où elles viennent. Parfois elles sont bienvenues, parfois elles sont indésirables.

Tentatoo – Une *harmonique*, en tant que telle, n'est finalement qu'un signal périodique dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence d'un autre signal périodique, appelé *fréquence fondamentale*. Ainsi, une fréquence fondamentale de 2 kHz peut être accompagnée de fréquences harmoniques

http://fribok.blogspot.com/

de 4 kHz ou de 6 kHz (rapport entier de deux entre fondamentale 2 kHz et harmonique 4 kHz, et rapport entier de trois entre fondamentale 2 kHz et harmonique 6 kHz). Vous avez raison en disant que les harmoniques peuvent être désirées ou non voulues. Il y a d'une part les harmoniques qui sont créées de façon involontaire par un circuit qui n'est pas parfait, et nous devons nous en débarrasser ou au moins les limiter. Il y a d'autre part les harmoniques qui sont créées volontairement, par exemple pour multiplier une fréquence dans le domaine RF (nous en avons parlé lors de notre discussion sur le modulateur FM), ou pour ajouter de la richesse à un son, dans le domaine BF. Vous m'avez parlé il n'y a pas très longtemps, de la différence que vous aviez constatée entre la forme d'onde d'une note jouée par une flûte, et la forme d'onde d'une note jouée par un piano. Eh bien, avec la flûte, les notes jouées sont composées d'une fréquence fondamentale et de peu d'harmoniques. Alors qu'avec un piano, un clavecin ou un violon, les notes jouées sont composées d'une fréquence fondamentale et de beaucoup d'harmoniques.

Sepatoo – Vous voulez dire que si on filtre toutes les harmoniques d'un son de piano, on entendra le son d'une flûte ?

Tentatoo – Oui, même si quelques autres subtilités font que cela n'est pas totalement aussi simple. À ce sujet, il me revient en mémoire une expérience amusante, où l'on m'avait fait écouter une note de musique en me demandant avec quel instrument elle avait été jouée. Je n'ai pas su le dire, mais le son me faisait un peu penser à celui d'une flûte dont le son s'éteignait doucement. Il s'agissait en fait d'une note de piano, à laquelle on avait retiré l'attaque, c'est-à-dire son début, il ne restait que la résonance.

Sepatoo – Oh, très intéressant ! Mais cela a-t-il un rapport avec l'émetteur FM que nous sommes en train de construire ?

Tentatoo – En partie, oui. Mais vous avez raison de me ramener sur les rails, car je commençais à me disperser un peu. Dans notre émetteur FM, nous avons un modulateur qui produit un signal qui va être amplifié avant d'être acheminé vers l'antenne d'émission. Ce signal est très pur et possède une forme parfaitement sinusoïdale.

Sepatoo – Et alors ?

Tentatoo – Et alors ? J'aurais aimé vous voir bondir.

Sepatoo – Auriez-vous dit une bêtise pour me piéger une nouvelle fois ?

Tentatoo – Une petite bêtise, oui. Je vous ai dit que le signal qui arrivait à l'antenne d'émission était très pur et qu'il possédait une forme parfaitement sinusoïdale.

Sepatoo – Je ne vois pas ce qui est choquant. Notre oscillateur est sérieux et bien construit, et vous avez dit qu'il était d'une grande pureté spectrale. Je ne vois pas pourquoi il ne délivrerait pas un signal parfaitement sinusoïdal.

Tentatoo – Peut-être parce que tout n'est pas aussi parfait que vous le pensez, et que certains composants vont apporter de la distorsion à ce signal.

Sepatoo – De la distorsion ? Ainsi, le son peut donc aussi être dégradé alors même qu'il a été transposé dans le domaine RF.

Tentatoo – Il ne faut pas tout mélanger, je parle là de la distorsion du signal modulé (la porteuse) et non du signal modulant (le signal audio). La distorsion

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

que peut subir le signal modulé n'aura pas la même incidence que la distorsion que peut subir le signal modulant. Même si dans les deux cas on se retrouve face à l'apparition d'un même type de défaut, à savoir l'apparition d'harmoniques non désirées. Si l'ajout de distorsion sur le signal modulant se révèle désagréable à l'oreille, l'ajout de distorsion sur le signal modulé ne se traduira pas quant à lui par une dégradation sonore directe à la réception. Par contre, les voisins qui regardent la télé risquent de ne pas être contents, parce que vous allez brouiller leur poste récepteur.

Sepatoo – Mais comment cela est-il possible ? L'émetteur FM émet dans la bande 88-108 MHz, et la bande de fréquence allouée à la diffusion de la télévision est bien au-delà, dans les quelques centaines de MHz.

Tentatoo – Convenez que ce que vous appelez « bien au-delà » reste assez relatif. Imaginez un instant que votre voisin regarde une émission télévisée qui est diffusée en UHF, sur une fréquence porteuse de 404 MHz. Votre émetteur FM, dont vous avez réglé la fréquence d'émission sur 101 MHz, n'est pas parfait, et la sortie produit des raies (fréquences) harmoniques multiples de 101 MHz, à savoir sur 202 MHz (harmonique paire H2), sur 303 MHz (harmonique impaire H3) et sur 404 MHz (harmonique paire H4). Qu'en dites-vous ?

Sepatoo – Je pense que s'il y a une raie harmonique (quel drôle de nom, cela me fait toujours sourire) à 404 MHz en sortie de notre émetteur FM, sa puissance sera tellement faible qu'elle risque peu d'être gênante pour ce voisin qui ferait mieux de lire, dit en passant.

Tentatoo – Supposons que ce voisin, qui a le droit de faire ce qu'il veut de son temps libre tant qu'il ne dérange personne, soit situé assez loin de l'émetteur télé, et que le tout petit signal qu'il reçoit de votre émetteur FM soit aussi fort que le tout petit signal qu'il reçoit de l'émetteur de télévision. Pensez-vous toujours que cela puisse rester sans effet ?

Sepatoo – J'avoue que je n'en suis plus aussi sûr, à présent. En fait, je pense que j'approfondirai le sujet si ledit voisin est un grand costaud avec de grosses moustaches.

Tentatoo – Vous voilà devenu raisonnable, même s'il a fallu pour cela trouver les bons arguments.

Sepatoo – Et maintenant que nous avons décidé qu'il fallait filtrer les harmoniques pour limiter le risque de bagarre avec ses voisins, pouvez-vous m'en dire plus ?

Tentatoo – J'aurais bien aimé que vous preniez un peu la parole, et que vous proposiez vous-même un petit montage qui nous rendrait ce service.

Sepatoo – Nous devons être arrivés en fin de semaine, à en croire votre optimisme. Comment voulez-vous que je propose une solution à un problème dont je n'avais jamais entendu parler avant ?

Tentatoo – Peut-être n'en aviez-vous pas entendu parler avant nos dernières discussions, mais maintenant, ce n'est plus vrai. J'attends votre proposition. Pour rappel, nous voulons passer les signaux RF dont la fréquence est située dans la bande 88-108 MHz, et nous ne voulons pas laisser passer les signaux de fréquence plus élevée.

Sepatoo – Heu… un filtre passe-bas ?

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous voyez, quand vous voulez ! Oui, il nous faut bien un filtre passe-bas. Avec quels composants comptez-vous le fabriquer ?

Sepatoo – Je propose un AOP, comme pour notre filtre passe-bas 15 kHz.

Tentatoo – Mauvaise pioche. Pouvez-vous me dire pourquoi ?

Sepatoo – À cause de la fréquence ?

Tentatoo – C'est une chose. Mais même s'il existe à ce jour des AOP capables de travailler dans ce domaine de fréquence, je vous défie d'en utiliser un pour filtrer la sortie d'un amplificateur de 1 kW.

Sepatoo – Ah oui, la puissance, je l'avais oubliée… Mais alors, devons-nous nous contenter de composants aussi bêtes que les résistances et les condensateurs ?

Tentatoo – Oui, mais je remplacerais bien volontiers les résistances par des selfs.

Sepatoo – Comme pour le filtre passe-bas évolué ?

Tentatoo – Exactement ! Si ce n'est bien sûr que les dimensions du fil électrique utilisé, la taille des spires et le diamètre ne sont pas du même ordre de grandeur. Voyez le schéma en **figure 5.7**, qui propose un exemple de filtre passe-bas prévu pour fonctionner en haute fréquence. Ce filtre atténue les signaux dont la fréquence est supérieure à 130 MHz.

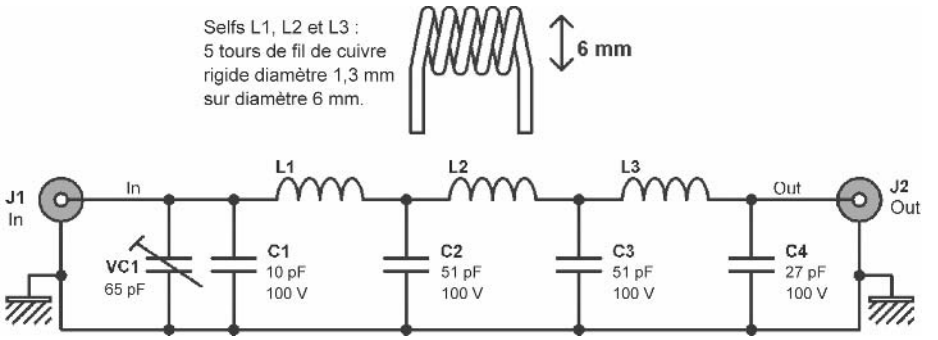


Figure 5.7

Sepatoo – Je constate qu'il faut fabriquer soi-même les bobines.

Tentatoo – Ne me dites pas que le dessin de la bobine vous fait peur.

Sepatoo – Non, c'est vrai. Sans dessin, le schéma m'aurait apeuré, mais là je dois reconnaître qu'avec lui, on voit tout de suite la forme que doivent avoir les selfs. Forme qui me plaît assez, d'ailleurs.

Tentatoo – Difficile en effet de faire plus simple. Vous prenez un fil de cuivre du diamètre préconisé, vous confectionnez cinq spires autour d'un crayon de papier, et une fois les spires réalisées, vous retirez le crayon qui a servi de support provisoire.

Sepatoo – Vous m'avez convaincu et je vous en remercie bien, je n'ai plus peur des bobinages. Peut-on utiliser un tel filtre à la sortie d'un amplificateur de 1 kW ?

Tentatoo – Je ne le conseillerais pas. Ce filtre convient pour une puissance RF de quelques dizaines de watts. Au-delà (disons à partir de 100 W), il faut

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

utiliser des condensateurs dont la tension de service est plus élevée, et prévoir des fils ou pistes de circuit imprimé en adéquation avec la puissance mise en jeu.

Sepatoo – C'est curieux tout de même, qu'une tension de service de 100 V ne suffise pas pour des puissances supérieures à 100 W.

Tentatoo – Je vous dirais simplement que j'ai déjà vu des condensateurs ayant une tension de service de 750 V, complètement brûlés, dans un amplificateur de 500 W. Il existe en effet des zones dans un amplificateur, notamment là où s'effectuent les couplages, qui peuvent être sujets à de très importants pics de tension.

Sepatoo – Bon, de toute façon, je me contenterai de quelques watts dans un premier temps, et les condensateurs 100 V devraient suffire. Ce filtre semble donc parfaitement adapté à mes besoins actuels.

Tentatoo – Nous avons bien avancé sur la partie puissance RF, mais il reste un point sur lequel nous n'avons pas encore dit grand-chose. Il s'agit de la puissance réfléchie, qui est en rapport avec l'énergie non rayonnée par l'antenne et qui revient vers l'étage de sortie de l'émetteur. À contre-courant pourrions-nous dire. Il est intéressant de mesurer la valeur de cette puissance qui revient vers l'émetteur.

5.4 Mesure de la puissance réfléchie (non rayonnée)

Sepatoo – En quoi la mesure de la puissance non rayonnée pourrait-elle nous intéresser plus que la mesure de la puissance réellement rayonnée par l'antenne ?

Tentatoo – En réalité, les deux mesures sont intéressantes, car elles permettent toutes deux de se faire une idée de la qualité de transmission du signal RF dans les conducteurs électriques, depuis la sortie RF de l'émetteur jusqu'à l'antenne. Comme le dirait Lapalisse, plus il y a de puissance qui revient à l'émetteur, moins il y a de puissance rayonnée par l'antenne. Mais ce qu'il faut savoir, c'est que plus il y a de puissance qui revient à l'émetteur, plus le risque de détruire un ou plusieurs composants électroniques de l'émetteur devient grand. Il est donc important de mesurer et de surveiller ce qui revient vers l'émetteur, surtout quand la puissance de sortie RF est importante. Car vous ne me contredirez pas je pense, la vie de l'émetteur est plus importante qu'une diminution de sa portée. Et pendant que j'y pense, je vous corrige sur un point : nous parlons de la mesure délivrée par l'émetteur, et non de la puissance rayonnée par l'antenne, ce qui est totalement différent.

Sepatoo – Comment ça, différent ? Si la totalité du signal RF délivré par l'émetteur est de 1 W et que tout arrive à l'antenne, nous avons bien une puissance rayonnée par l'antenne de 1 W, non ?

Tentatoo – Dans certains cas oui, dans d'autres, non. En sortie de l'émetteur, nous parlons de *puissance électrique*, et au niveau de l'antenne, nous parlons de *puissance apparente rayonnée* (PAR). L'émetteur FM peut très bien délivrer une puissance de 1 W, et l'antenne rayonner 2 W ou même 4 W dans une direction donnée.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Voudriez-vous dire que l'antenne peut se comporter comme un amplificateur capable d'augmenter une puissance sans aucun autre apport d'énergie ?

Tentatoo – Exactement. Je vois bien ce qui vous chiffonne, et vous devez vous dire que je deviens fou. Nous sommes d'accord sur le fait que l'on ne peut pas amplifier un signal quel qu'il soit sans apport d'énergie. Mais faisons une petite expérience simple avec une ampoule à filament, dans une pièce sombre, voulez-vous ? Fixez l'ampoule verticalement au centre de la pièce, au plafond, culot en haut. Une fois alimentée, elle rayonne de l'énergie lumineuse tout autour d'elle, sur 360°. Supposons que l'éclairement est uniforme : chaque mur de la pièce est éclairé de la même façon. Maintenant, placez un miroir entre l'ampoule et un des quatre murs, côté réfléchissant côté ampoule. Qu'observe-t-on ? Un éclairement supérieur sur le mur qui fait face au côté réfléchissant du miroir. Aucun apport d'énergie au niveau de l'ampoule elle-même, mais pourtant plus d'énergie dans une direction donnée. Quelle conclusion tirez-vous de cette expérience ?

Sepatoo – Ce n'est pas bien compliqué à comprendre ! Une partie de l'énergie lumineuse a été détournée de sa trajectoire initiale, ce qui a conduit à une augmentation d'énergie dans une direction, et à une perte d'énergie dans l'autre. Je ne suis pas un expert dans le domaine des hautes fréquences, mais il me semble que vous allez au devant d'une grande déception si vous voulez utiliser un miroir pour concentrer l'énergie rayonnée par l'antenne dans une direction donnée.

Tentatoo – La question n'était pas de savoir si un miroir en verre permettait de réfléchir un signal RF oscillant à 101 MHz, mais de vous montrer qu'il était possible d'augmenter la puissance rayonnée dans une direction donnée, si l'on se satisfait d'une perte dans une autre direction. Imaginez que votre émetteur soit situé en bordure d'une grande ville. Auriez-vous intérêt à diffuser d'égale façon un signal tout autour de l'antenne, sachant que 80 % de l'énergie rayonnée ne servira à personne ? Dans un cas pareil, il vaut mieux concentrer l'énergie vers la zone habitée, ce qui permet pour une même zone de couverture (même portée si vous préférez) d'utiliser un émetteur FM de plus faible puissance. Moins de consommation électrique, moins d'échauffement et moins de risque de panne.

Sepatoo – Mais cela est merveilleux ! En suivant cette méthode, peut-être serais-je capable de diminuer assez la puissance de sortie de mon émetteur pour pouvoir l'alimenter à l'aide d'une simple pile !

Tentatoo – Excusez ma franchise, mais je n'y crois pas trop. Et puis dans le contexte d'utilisation de votre émetteur, je ne pense pas qu'il vous soit favorable de privilégier une direction donnée… De toute façon, sachez que les éléments naturels et industriels, ainsi que la géographie du terrain tout autour de votre antenne, vont contribuer à privilégier une ou plusieurs directions parmi d'autres. Mais l'essentiel est bien que vous puissiez réceptionner votre émission radio dans l'enceinte de votre maison.

Sepatoo – Vous avez raison, je vais me contenter d'une petite antenne droite, sans miroir. Et pour ce qui est de la mesure de la puissance réfléchie ?

Tentatoo – Celle-ci peut être réalisée par un circuit simple comportant quelques composants électroniques, situé entre la sortie de l'amplificateur RF et le connecteur d'antenne. Le principe repose sur le prélèvement d'une

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

fraction du signal RF au niveau du connecteur de sortie RF, qui est ensuite redressé pour en faire une tension continue proportionnelle à la puissance RF. Le montage électronique peut être situé dans l'émetteur même, ou dans un boîtier externe. Ce type de boîtier externe existe d'ailleurs tout fait, on en voit souvent, et à très bon marché, chez les revendeurs de matériels pour CB, dont la bande de fréquence est, vous le savez peut-être, celle des 27 MHz.

Sepatoo – Dommage que la bande des 27 MHz ne corresponde pas à celle qui nous concerne. Car il aurait été simple d'acheter un petit appareil de ce genre et de l'utiliser avec notre émetteur.

Tentatoo – Il est vrai que ces appareils, appelés TOS-mètres ou ROS-mètres, semblent dédiés à la Citizen-Band.

Sepatoo – La Citizen quoi ?

Tentatoo – La Citizen-Band, plus connue sous l'appellation CB. La bande allouée pour les Cibistes. Mais vous savez, certains de ces appareils fonctionnent très bien dans la bande 88-108 MHz. J'ai même un ami qui en utilise un pour sa station radio amateur, dans la bande 144-146 MHz. Et j'ai même vu une fois un tel ustensile fonctionner de 30 MHz à 433 MHz. Bien entendu, la sensibilité n'est pas la même sur toute la plage de fréquence, et un bouton de tarage est indispensable.

Sepatoo – Un tel appareil doit être assez compliqué à réaliser, tout de même, non ?

Tentatoo – Je vous laisse juger par vous-même, avec le schéma présenté en **figure 5.8**.

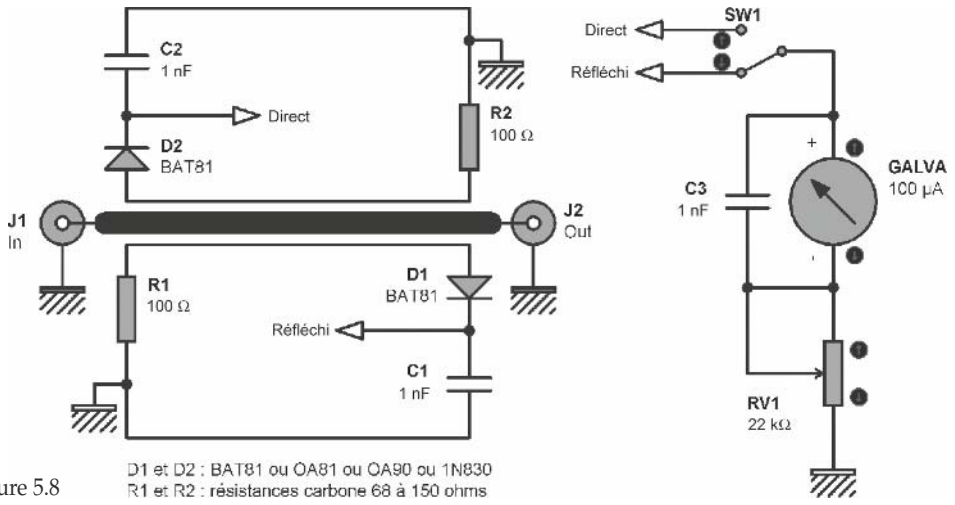


Figure 5.8

Sepatoo – Quoi, c'est tout ? Mais je ne vois que de simples diodes, résistances et condensateurs. À quoi correspond ce drôle de composant représenté par un trait large, en plein centre du schéma ?

Tentatoo – Oui, il n'y a pas beaucoup de composants, car il ne faut pas grand-chose pour ponctionner notre signal RF, à la condition toutefois que ce dernier possède une puissance suffisante, pour pouvoir « passer » le seuil

http://fribok.blogspot.com/

de conduction des diodes D1 et D2. Voilà donc le minimum requis : une diode de détection RF à faible seuil de tension (diode au germanium ou diode Schottky), un condensateur de lissage et une résistance refermant la boucle. Nous avons là deux circuits identiques mais montés chacun de leur côté par rapport aux entrées/sorties. Un circuit sert pour le prélèvement de l'onde réfléchie (D1, C1, R1), l'autre sert pour le prélèvement de l'onde directe (D2, C2, R2). Le gros trait représente simplement une ligne électrique de quelques centimètres de long, dans laquelle passe le signal RF qui sort de l'émetteur (entrée sur J1) et qui va vers l'antenne (sortie sur J2). Cette ligne peut être constituée par un fil de cuivre rigide, ou par une piste de circuit imprimé. Je vous proposerai plus tard un exemple de réalisation d'un circuit imprimé taillé spécialement pour cet usage.

Sepatoo – Le montage semble simple, mais à y regarder de plus près, une chose m'échappe. Habituellement, la diode de détection est reliée là où l'on souhaite prélever le signal à mesurer. Pourtant ici, aucune connexion physique n'est établie entre le conducteur principal central, et la diode.

Tentatoo – Peut-être que la liaison existe mais que vous ne la voyez pas…

Sepatoo – Vous savez toujours aussi bien entretenir le mystère. Voilà maintenant que nous faisons usage de composants invisibles !

Tentatoo – Mais non. Regardez attentivement le schéma et dites-moi à quoi vous font penser les trois grandes lignes parallèles.

Sepatoo – Les trois grandes lignes parallèles ?

Tentatoo – Oui. Celle du centre qui tout à l'heure vous intriguait, celle qui relie R1 à l'anode de D1, et enfin celle qui relie l'anode de D2 à R2.

Sepatoo – À un double condensateur, bien sûr !

Tentatoo – Le mystère aura été de courte durée.

Sepatoo – Ainsi, les signaux RF direct et réfléchi sont prélevés de façon capacitive. J'aurais pu le voir plus tôt.

Tentatoo – Il n'est jamais trop tard. Voilà donc le plus gros de notre travail passé en revue. Il me semble que nous avons assez parlé théorie et qu'il est maintenant grand temps de passer à la pratique.

Sepatoo – Quelle bonne idée ! Je dois dire que je commençais à trouver le temps un peu long. Où sont les circuits imprimés percés et les composants, je vous prie ?

http://fribok.blogspot.com/

6 RÉALISATION ET ASSEMBLAGE DES MODULES DE L'ÉMETTEUR

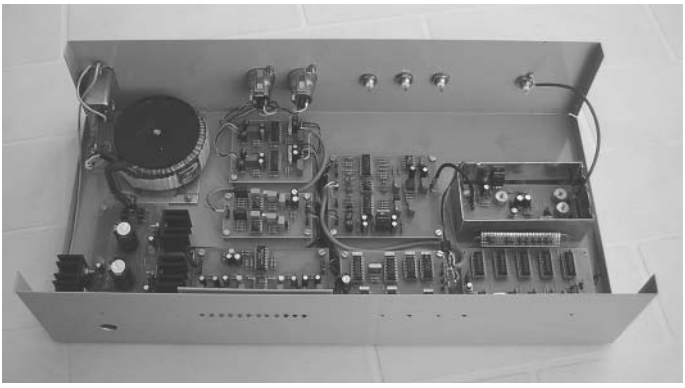


Figure 6.1

Tentatoo – Mon cher Sepatoo, ne croyez pas que je vais ainsi vous fournir la voiture avec le plein d'essence, et la clé dans la poche de votre veston. Vous allez devoir mettre la main à la pâte, ce qui ne devrait pas vous déplaire tant votre impatience de voir fonctionner votre émetteur est grande.

Sepatoo – Vous voulez dire que je vais devoir tout seul réaliser les circuits imprimés, souder les composants, assurer l'ensemble des câblages et faire des trous dans le boîtier ?

Tentatoo – Mais bien entendu. Je sais que vous avez passé le stade des petits kits pour vous faire la main, il est maintenant temps de vous y mettre sérieusement. Si cela peut vous rassurer, je resterai à vos côtés durant tout le temps de la réalisation et vous assisterai le cas échéant.

Sepatoo – Puisqu'il est question d'assistance, j'en ressens déjà un léger besoin. Et comme je ne suis pas égoïste, je suggère dès maintenant que nous partagions équitablement le travail : je vous laisse le plaisir de faire les circuits imprimés et les trous dans le boîtier, et je garde l'ingrat travail de soudage des composants et des fils.

Tentatoo – Question partage, je vous remercie bien. Mais je préfère sincèrement vous laisser réaliser ce que vous n'avez pas encore fait tout seul, sinon

http://fribok.blogspot.com/

vous risquez fort de ne pas apprendre grand-chose. Et n'ayez pas peur de vous tromper, car comme je vous le disais, je resterai à vos côtés tout le temps qu'il faudra.

Sepatoo – Cela est bien aimable. Par quoi dois-je donc commencer ?

Tentatoo – Je vous suggère de réaliser l'alimentation secteur en premier, car elle nous permettra par la suite de tester les autres modules, au fur et à mesure de leur réalisation. Voici tout le nécessaire pour réaliser les circuits imprimés, je vous laisse aux commandes.

6.1 Réalisation de l'alimentation secteur

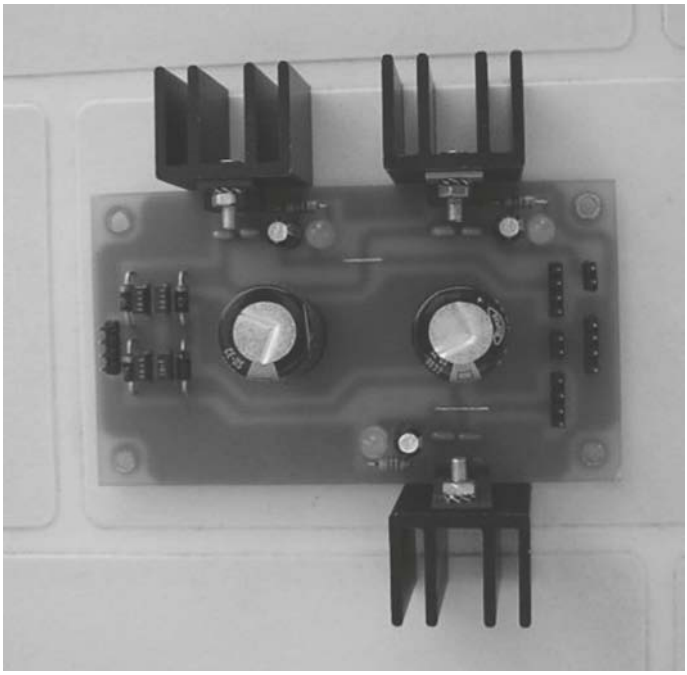


Figure 6.2

Sepatoo – Mais j'y pense, nous n'avons même pas vu le schéma de cette alimentation !

Tentatoo – Cela est très juste, mais il n'est pas trop tard pour y jeter un œil. Voyez la **figure 6.3**, qui dévoile l'utilisation de régulateurs de tension classiques pour stabiliser les tensions dont nous avons besoin pour l'ensemble de nos circuits.

Sepatoo – Je reconnais en effet ce type de schéma, que j'ai maintes fois rencontré dans plusieurs revues d'électronique. Ces régulateurs de tension sont vraiment pratiques, il suffit de choisir ceux dont la tension de sortie nous intéresse, et de leur appliquer une tension d'entrée un peu supérieure à cette tension de sortie. Je vois que vous avez choisi des modèles positifs (78xx) et négatifs (79xx) pour obtenir les tensions de +15 V (avec le 7815) et

http://fribok.blogspot.com/

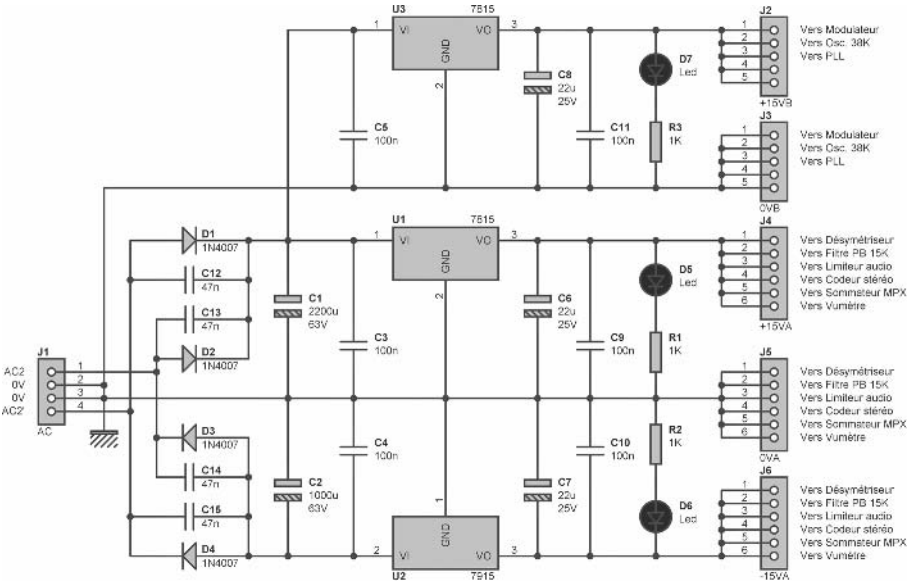


Figure 6.3

de –15 V (avec le 7915). Le redressement avec le pont de diode constitué par les diodes D1 à D4 est lui aussi très classique, et je vais sans doute vous surprendre, car je sais même à quoi servent les condensateurs montés en parallèle sur les diodes : ils servent à atténuer les bruits de commutation des diodes. Le reste n'appelle pas de commentaire particulier, les condensateurs C1 et C2 servent au filtrage principal des tensions redressées, et les leds confirment que l'on a bien quelque chose en sortie des régulateurs. Je me pose juste une question concernant le transformateur d'alimentation, qu'on ne voit pas sur le schéma. Je suppose qu'on doit le connecter sur les bornes du connecteur J1.

Tentatoo – Tout ce que vous dites là est juste, en effet. Le transformateur est placé à part, il ne prend pas place sur le circuit imprimé, et c'est pourquoi il est dessiné séparément, comme le montre le schéma donné à la **figure 6.4**. Ce choix vous permet de choisir le modèle qui vous convient, traditionnel à étrier ou torique. L'enroulement secondaire du transformateur doit bien être raccordé sur les bornes du connecteur J1.

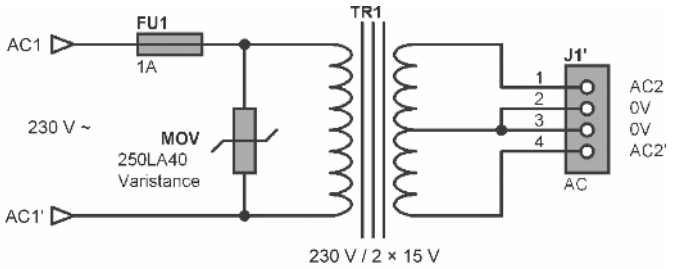


Figure 6.4

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Tiens, vous utilisez un transformateur avec secondaire à point milieu.

Tentatoo – Oui, car nous avons besoin de deux tensions symétriques de +15 V et –15 V. Mais nous aurions aussi pu utiliser un transformateur à deux secondaires séparés, qui se seraient de toute façon retrouvés connectés avec un point commun pour la masse.

Sepatoo – Et à quoi sert la varistance MOV ?

Tentatoo – À écrêter les surtensions éventuellement présentes sur le réseau EDF, qui pourraient fatiguer ou endommager le transformateur. Ce composant présente une résistance ohmique élevée en temps normal, c'est-à-dire quand la tension à ses bornes est inférieure à son seuil, ici de 250 V. Si une surtension apparaît, par exemple de 400 V, la résistivité de la varistance diminue brutalement, absorbant alors le surplus d'énergie, qui n'est pas propagé sur le reste du circuit. Le courant qui circule à ce moment dans la varistance peut être très important, et si la surtension est vraiment très importante et très énergétique, la varistance peut se mettre en court-circuit. C'est pourquoi il est conseillé de placer un fusible en amont. Voilà, je pense que nous avons assez repoussé l'échéance, il va falloir déboucher les flacons de produits chimiques et entamer la réalisation des circuits imprimés.

Sepatoo – Tous ces produits chimiques me font un peu peur. N'y a-t-il aucun risque à les utiliser ainsi ? J'aurais préféré mettre des gants pour ne pas me salir ni me brûler.

Tentatoo – Très bonne remarque, Sepatoo. Voici les gants, qui attendaient que vous les demandiez. Et si je peux me permettre une petite suggestion, vous devriez aussi porter des lunettes de protection.

Sepatoo – Cela tombe bien, j'allais vous les demander aussi.

Tentatoo – Je n'en doute pas un instant. Allez, au travail maintenant. Vous avez les typons que j'ai déjà imprimés, il vous reste à les insoler aux rayons ultraviolets, à les passer au révélateur et à les graver au bain de perchlorure de fer. Je vais lire un peu dans la pièce à côté, appelez-moi au besoin.

Sepatoo – À l'aide !

Tentatoo – Que se passe-t-il, Sepatoo, avez-vous renversé du perchlorure de fer sur votre tablier ?

Sepatoo – Non, je n'en suis pas encore là. Je voulais juste savoir combien de temps je devais laisser le circuit dans la machine à graver.

Tentatoo – Vous m'avez fait peur. À vous entendre crier ainsi, j'ai cru que le pire vous était arrivé. Eh bien, laissez-le quelques minutes et regardez en même temps comment la gravure évolue. Vous trouverez peut-être le temps un peu long au début, mais une fois que c'est parti, ça peut aller assez vite. Alors soyez vigilant.

Sepatoo – Très bien. Je vais essayer de ne plus vous déranger pour rien.

Tentatoo – Je préfère que vous me dérangiez pour rien, plutôt que de ne rien demander et de rester des heures à vous demander par où commencer le travail.

Tentatoo – Eh bien Sepatoo, je ne vous entends plus. Vous seriez-vous endormi ?

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Hein, quoi ? En fait, comme l'opération de gravure tardait un peu, je me suis permis d'ouvrir moi aussi un livre. Et comme ce que je lisais était vraiment captivant…

Tentatoo – … Vous avez oublié de vérifier de temps en temps l'évolution de la gravure du circuit. Et votre circuit n'a plus beaucoup de cuivre, à ce que je vois. Y compris là où il devrait normalement en rester.

Sepatoo – À vrai dire, c'est bien de cela qu'il s'agit.

Tentatoo – Ce n'est pas grave, mais il faudra faire attention avec votre prochain circuit. Et si je peux me permettre une nouvelle suggestion, n'oubliez pas de mettre en route la minuterie, la prochaine fois.

Sepatoo – Dois-je recommencer ce circuit ?

Tentatoo – Non, ce n'est pas la peine. J'avais déjà réalisé un circuit imprimé pour l'alimentation secteur, ce qui avouez-le, tombe plutôt bien.

Sepatoo – Vous pouvez le dire ! À croire que cet échec était prévisible.

Tentatoo – Ce n'est pas un échec, mais une première tentative. Je n'ai pas connu grand monde qui ait réussi du premier coup à réaliser un circuit imprimé parfait. L'insolation aux UV s'est bien déroulée, c'est déjà bien.

Sepatoo – J'aurais donc eu droit à un 10/20 si vous m'aviez noté. Il est vrai que ça aurait pu être pire.

Tentatoo – Bien, voici les composants à souder sur le circuit d'alimentation, et un rouleau de soudure. Je vous laisse continuer.

Sepatoo – Hormis le transformateur, la varistance et le fusible, tous les autres composants prennent place sur le circuit ?

Tentatoo – Exactement.

Tentatoo – Je vois que vous avez bien avancé, et que le circuit d'alimentation générale est terminé. Nous allons donc pouvoir dès maintenant procéder aux tests de bon fonctionnement.

Sepatoo – Je peux donc brancher le transformateur au secteur ?

Tentatoo – Oui, si vous avez bien vérifié la totalité de votre câblage. À votre place, je poserai une feuille de papier ou de carton au-dessus de votre montage, avant de le relier à la prise secteur. On ne sait jamais, un condensateur qui aurait échappé à votre vigilance et qui aurait été monté à l'envers, pourrait se manifester de façon bruyante et odorante.

Sepatoo – J'ai bien vérifié la polarité de tous les composants qui ont un sens, à savoir les condensateurs, les diodes, les transistors et les circuits intégrés. Je pense n'avoir rien omis, si ce n'est les radiateurs que je dois encore ajouter aux régulateurs de tension.

Tentatoo – Les radiateurs ne sont pas nécessaires pour cette étape de vérification, puisque le courant consommé se limite à celui absorbé par les leds, qui est faible. Vous pouvez y aller et effectuer vos raccordements conformément au câblage de la **figure 6.5**.

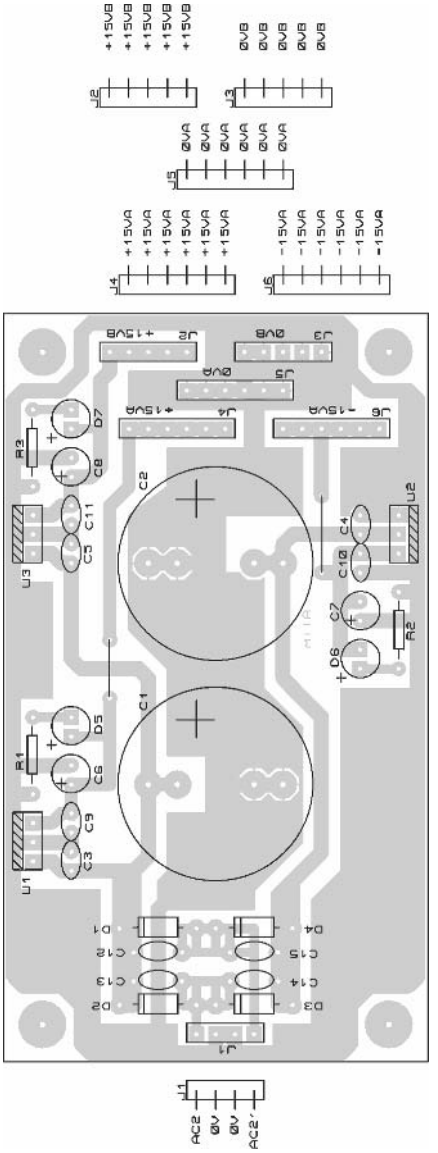
Sepatoo – Hop !

Tentatoo – Attendez quelques secondes avant d'enlever la feuille. Sentez-vous quelque chose ?

Sepatoo – Non, je ne sens rien. Devrais-je sentir quelque chose ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/



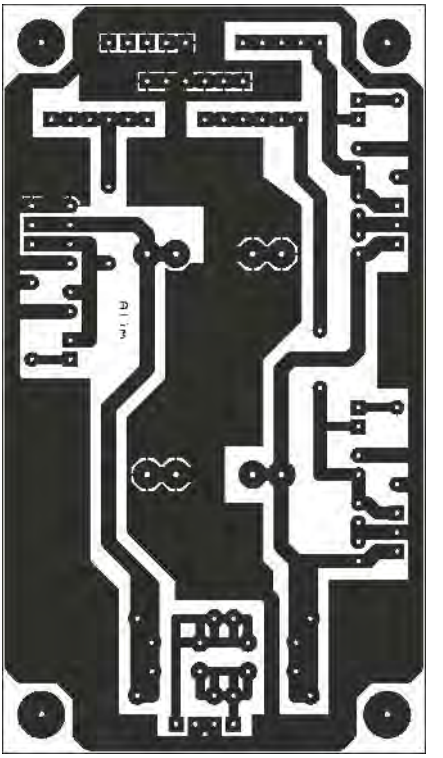


Figure 6.5

Tentatoo – Non, il serait plutôt anormal de sentir quelque chose au bout de seulement quelques secondes. Vérifiez maintenant les tensions de sortie avec votre multimètre, et dites-moi si tout est conforme à ce qui est attendu.

Sepatoo – Je mesure 15,05 V sur la sortie 15 VB, et–14,90 V et +15,08 V sur les sorties –15VA et +15VA. La sortie –15 V semble défectueuse, elle n'atteint pas –15 V.

Tentatoo – Les régulateurs de tension utilisés dans notre alimentation possèdent une certaine tolérance sur la tension de sortie, ce qui signifie que cette dernière peut être comprise entre deux valeurs qui tournent autour de

http://fribok.blogspot.com/

celle annoncée par le fabricant. J'aurais été inquiet si vous aviez lu –11 V sur cette sortie, mais là, je ne le suis aucunement.

Sepatoo – Cette première étape est donc une victoire complète !

Tentatoo – Oui, et comme la chance semble vous sourire, je vous suggère de passer tout de suite au circuit imprimé suivant.

6.2 Réalisation du désymétriseur audio

Sepatoo – Le désymétriseur audio, peut-être ?

Tentatoo – Comme il s'agit du premier élément de la chaîne audio de notre émetteur, c'est une bonne idée de commencer par lui.

Sepatoo – Eh bien soit, allons-y.

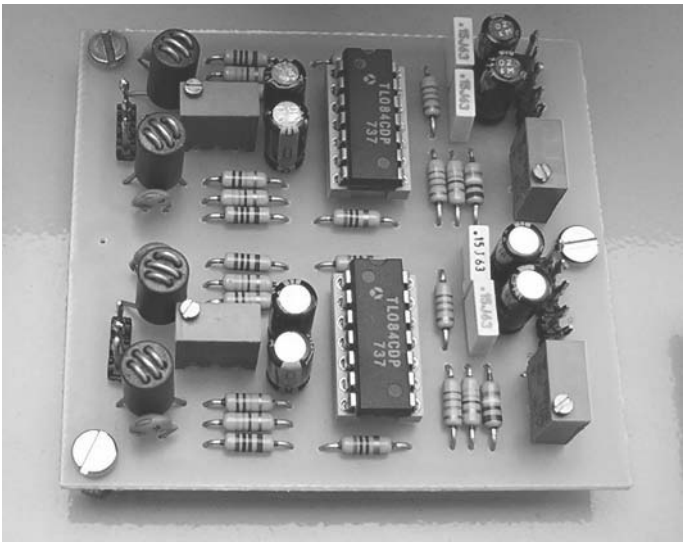


Figure 6.6

Tentatoo – Je vois que vous avez rapidement pris le coup de main, la gravure du circuit est déjà terminée.

Sepatoo – Auriez-vous oublié que je suis un as dans ma catégorie ?

Tentatoo – Un as de la modestie, oui je sais. Vous n'avez plus qu'à souder les composants conformément aux indications de câblage données en **figure 6.7**, et une fois ce travail effectué, vous vérifierez que le signal audio passe bien au travers du circuit, en vous aidant du générateur BF et de l'oscilloscope.

Sepatoo – Suis-je obligé d'appliquer un signal audio symétrique sur les entrées, ou puis-je me contenter d'utiliser un signal audio asymétrique ?

Tentatoo – Vous pouvez utiliser l'un ou l'autre, sachant toutefois qu'en utilisant un signal audio asymétrique, vous laissez alors une des deux entrées signal non raccordée (In+ ou In–) et que par conséquent le niveau du signal de sortie sera divisé par deux, comparé au niveau que l'on aurait en utilisant un signal symétrique.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

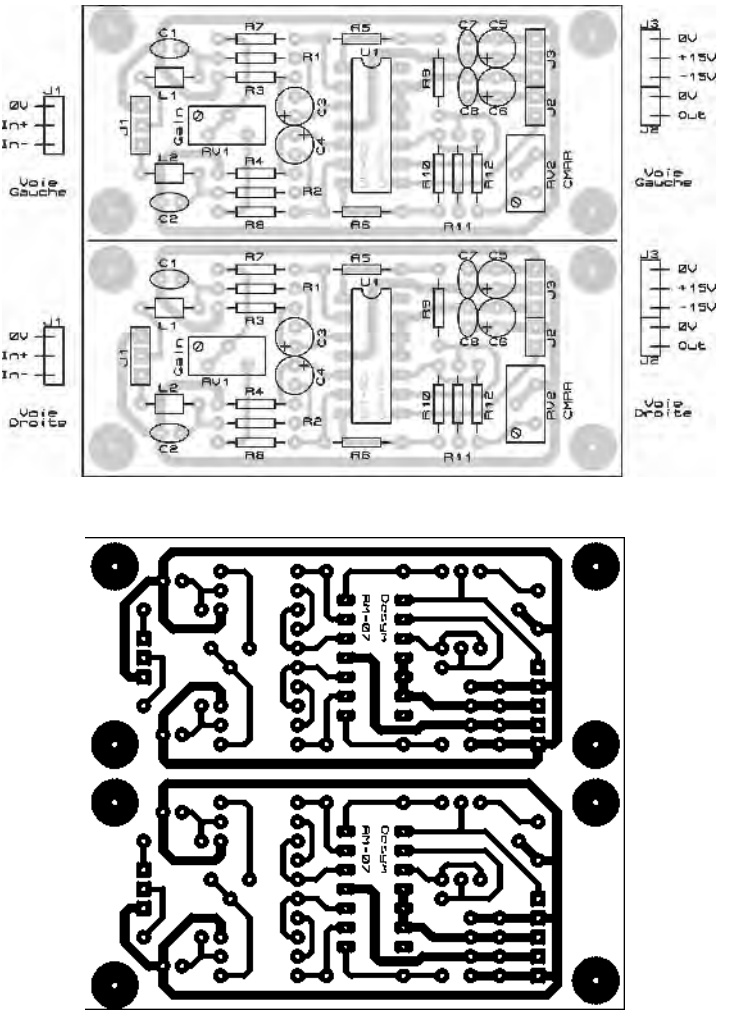


Figure 6.7

Sepatoo – Devrais-je toucher aux potentiomètres de réglage ?

Tentatoo – Oui, mais pas tout de suite, nous verrons cela durant la phase générale des ajustements.

Sepatoo – Puis-je vous poser une question bête ?

Tentatoo – Vous savez bien que j'adore les questions bêtes.

Sepatoo – Pourquoi avoir réalisé deux circuits monophoniques identiques mis côte à côte, plutôt qu'un seul circuit de type stéréophonique ?

Tentatoo – Tout simplement par manque de temps. J'avais déjà conçu le circuit de désymétrisation pour un microphone dynamique, et l'ai légèrement modifié pour notre usage.

Sepatoo – Je dois dire que cela m'embête un peu de devoir câbler deux arrivées d'alimentation alors qu'une seule aurait pu suffire.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Vous avez raison, ça ne fait pas très professionnel. Mais regardez la **figure 6.8**, qui montre comme il est simple de faire trois petits ponts de câblage entre les bornes des deux connecteurs J3 (fils noir, rouge et vert). Point besoin de tirer deux fois trois fils depuis le bloc d'alimentation secteur.

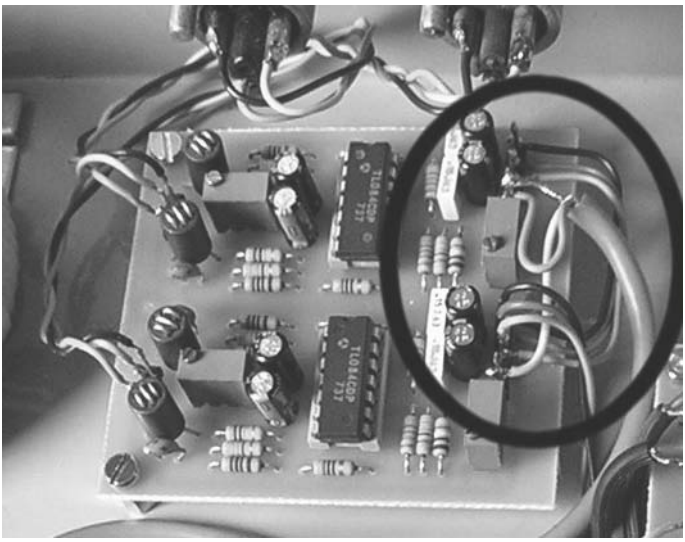


Figure 6.8

Sepatoo – Va pour cette fois, je veux bien admettre que vous n'ayez pas eu le temps de fignoler ce circuit. Mais que cela ne se reproduise plus.

Tentatoo – Chercheriez-vous à prendre ma place ?

Sepatoo – Qui, moi ?

Tentatoo – À vous entendre parler ainsi, j'en ai bien l'impression.

Sepatoo – Qu'allez-vous penser là, enfin.

Tentatoo – Je me fais des idées, vous avez raison. Cependant, vous m'avez donné une idée d'exercice pratique pour les cours du mois prochain. Je vous demanderai de tracer un nouveau circuit spécialement fait pour un usage en stéréo.

Sepatoo – J'aurais dû me taire.

Tentatoo – Mais non, vous avez bien fait. Il y a toujours des choses à améliorer dans ce qu'on fait, et je suis heureux de savoir que vous allez participer à l'amélioration de cette section. Très bien !

Sepatoo – Humpfff.

Tentatoo – Allons, ne faites pas la tête, et vérifions ensemble ce que dit notre circuit.

Sepatoo – Quelle amplitude et quelle fréquence dois-je utiliser ?

Tentatoo – Une fréquence de 1 kHz et une amplitude de 1 V me paraissent bien.

Sepatoo – Eh bien avec 1 V d'amplitude en entrée, je me retrouve avec 0,4 V en sortie. Cela est-il normal ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Cette mesure ne me choque pas, tout du moins sans regarder plus loin. Je vous suggère de tourner un peu la vis du potentiomètre ajustable de gain RV1, pour voir si l'amplitude de sortie évolue avec le réglage.

Sepatoo – Le niveau de sortie n'évolue pas du tout quand je tourne le potentiomètre RV1. Notre circuit est donc en panne !

Tentatoo – Il est normal que rien ne change en sortie, car vous ne manipulez pas le bon potentiomètre.

Sepatoo – Il s'agit pourtant bien de RV1.

Tentatoo – Oui, mais vous touchez le RV1 de la voie droite, alors que le signal audio venant du générateur est appliqué à l'entrée de la voie gauche.

Sepatoo – Voilà ce qui arrive quand on donne une même référence à deux composants d'un même circuit ! Je savais bien qu'utiliser deux circuits mono identiques placés côte à côte serait source de problème.

Tentatoo – Je n'ai jamais dit le contraire. Cependant, dans ce cas précis, il suffit d'accorder un peu plus d'attention à ce que l'on fait, et tout ira bien.

Sepatoo – Bon, continuons. Si je tourne le potentiomètre RV1 de la voie gauche, le niveau de sortie de la voie gauche évolue en même temps. Ça marche !

Tentatoo – Et pour la voie droite ?

Sepatoo – Cela fonctionne également. J'ai bien cru pendant l'espace de quelques secondes, que nous allions devoir passer l'après-midi à dépanner ce circuit.

Tentatoo – Si nous avions dû le faire, nous l'aurions fait, n'est-ce pas ?

Sepatoo – Oui, bien sûr. Mais notre pause réglementaire aurait sans doute été sacrément raccourcie.

Tentatoo – Ah je vois, vous voulez déjà une autre pause. Je vous propose toutefois de passer à la réalisation de notre filtre passe-bas 15 kHz, qui sera rapide car il s'agit d'un circuit vraiment simple. Ensuite, nous pourrons aller prendre un café ensemble.

6.3 Réalisation du filtre passe-bas 15 kHz

Sepatoo – Ah oui, c'est dans ce circuit que l'on fait usage de selfs toutes faites.

Tentatoo – Oui, tout à fait. Sur le dessin de câblage visible en **figure 6.10**, les selfs, dont le nom commence par la lettre L, sont représentées comme des résistances, car au début je comptais en utiliser ayant cette forme. Finalement, celles que j'ai achetées sont de forme rectangulaire.

Sepatoo – Mais cela n'a pas d'importance qu'elles soient cylindriques ou rectangulaires ?

Tentatoo – Non. Il existe bien sûr différentes qualités de selfs, et dans certains cas on ne peut pas faire autrement que de les confectionner soi-même. Mais en ce qui nous concerne, celles choisies conviennent bien.

Sepatoo – Comment fait-on pour mesurer la qualité d'une self ?

Tentatoo – Cela sort du cadre de notre discussion, nous en parlerons plus tard, si vous le voulez bien.

http://fribok.blogspot.com/

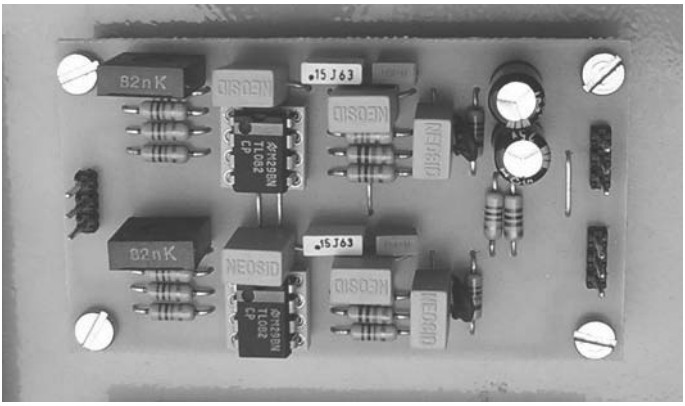


Figure 6.9

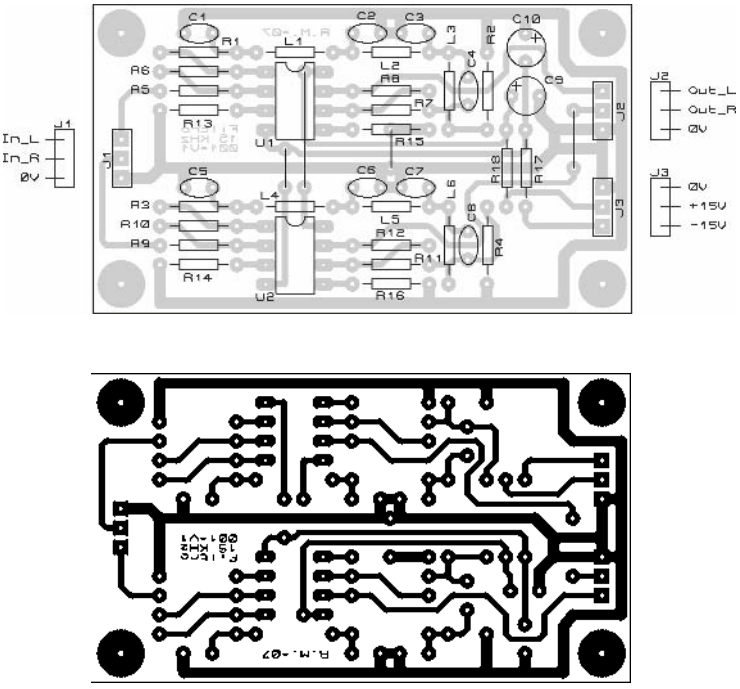


Figure 6.10

Sepatoo – Oh, je posais juste la question comme ça. Si vous-même estimez que l'on n'a pas assez de temps pour aborder ce point, c'est que cela n'est sûrement pas simple. Il est donc aussi bien d'en parler plus tard, je suis tout à fait d'accord avec vous.

Tentatoo – Toujours partant, n'est-ce pas ? Maintenant que vous avez câblé votre platine, peut-être pouvez-vous me dire si elle fonctionne ?

Sepatoo – Dois-je utiliser une musique qui comporte beaucoup d'aigus, pour estimer si à l'écoute il y a perte audible lors du passage du signal audio dans le filtre ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Cette façon de faire est plutôt optimiste, mais je connais une personne qui est capable de dire en aveugle, si un signal audio passe ou non dans un filtre 15 kHz. En ce qui nous concerne, pour faire plus vite et être plus sûr, je vous suggère d'utiliser notre générateur audio.

Sepatoo – Mais nous ne pouvons pas tracer la courbe de réponse, nous n'avons pas de traceur de courbe.

Tentatoo – Point besoin, ma foi. Contentons-nous de faire quelques relevés avec quelques fréquences fixes, cela sera amplement suffisant. Une mesure à 100 Hz, une à 1 kHz, une à 10 kHz, une autre à 15 kHz et une dernière à 19 kHz. Dans tous les cas, l'amplitude du signal audio appliqué à l'entrée du filtre doit bien sûr rester la même. Je vous laisse faire et m'expliquer ce que vous observez.

Sepatoo – Une amplitude de 1 V pour le signal d'entrée vous convient-elle ?

Tentatoo – C'est parfait.

Sepatoo – Je mesure en sortie un signal d'un peu plus de 1 V, à la fréquence de 100 Hz. Est-ce normal ?

Tentatoo – Le filtre présente un petit gain, d'un peu moins de 1 dB, que nous allons simplement ignorer. Notez la valeur mesurée, puis continuez avec les autres fréquences.

Sepatoo – Même valeur à 1 kHz et à 10 kHz. Mais à 15 kHz, le signal commence à chuter. Ce n'est pas normal, il devrait commencer à chuter après 15 kHz.

Tentatoo – La fréquence de coupure n'a pas été déterminée avec grande précision, et nous avons utilisé des composants fixes, de valeur aussi proche que possible des valeurs théoriques calculées. Ces composants ont une tolérance, et tous ces petits écarts peuvent s'additionner dans le même sens. Ne vous inquiétez pas, l'important est que la chute à 15 kHz ne soit pas trop importante. Entre nous soit dit, je préfère que la bande passante accuse une baisse un peu avant 15 kHz et que le niveau à 19 kHz soit plus bas, que l'inverse. Bien entendu, je parle pour notre filtre simple, pas pour les filtres professionnels et très carrés, avec lesquels on doit être plus rigoureux. À 19 kHz, que mesurez-vous ?

Sepatoo – Je mesure un niveau d'environ –20 dB, ce qui semble à peu près coïncider avec la courbe de réponse que vous m'aviez montrée.

Tentatoo – Bien, nous pouvons considérer ce circuit comme étant en pleine forme. Ne vous reste qu'à régler précisément la valeur des selfs fixes.

Sepatoo – Je vous demande pardon ?

Tentatoo – C'est une blague. Je repensais juste à ces vieux composants que l'on tailladait par petits bouts en cours de test, pour obtenir une valeur précise.

Sepatoo – Vraiment, cela a existé ?

Tentatoo – Mais bien sûr ! On ne rencontre guère plus cette façon de faire de nos jours, il faut dire que tout a été tellement miniaturisé, qu'il serait amusant de vouloir tailler une résistance CMS format 1206. Vous voyez, ce filtre ne nous a pas demandé beaucoup de temps de travail, nous pouvons

http://fribok.blogspot.com/

maintenant aller prendre un café. Ensuite, nous fabriquerons le compresseur de modulation.

6.4 Réalisation du compresseur de modulation

Sepatoo – Voilà, j'ai terminé la gravure du circuit limiteur de modulation. Regardez comme il est beau.

Tentatoo – Il reste tout de même quelques petits résidus de cuivre à certains endroits. Les circuits précédents étaient plus propres.

Sepatoo – Vous pensez que cela est gênant ?

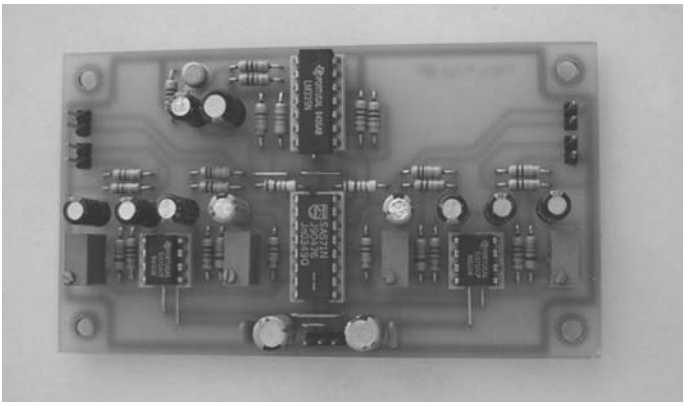


Figure 6.11

Tentatoo – Mais non, pas le moins du monde. En laissant le circuit tel quel, vous risquez juste de provoquer des courts-circuits et de griller quelques composants. Rien de grave si cela arrivait cependant, il vous suffirait juste de recommencer le circuit et d'acheter de nouveaux composants qui ne coûtent jamais assez cher. Ignorez donc ces détails, et faites comme si je n'avais rien dit.

Sepatoo – Hum, à cette réflexion un poil ironique, je crois comprendre qu'il vaut mieux que je gratte un peu ces bouts de cuivre avec une petite fraise.

Tentatoo – Voilà une bonne idée. Faites cependant attention de ne pas couper quelques pistes voisines au passage.

Sepatoo – Tout de même, je ne vais pas y aller à coups de marteau !

Tentatoo – Un « accident » est vite arrivé, croyez-moi. Mais allez-y, je ne veux pas vous retarder davantage.

Sepatoo – Voilà, j'ai nettoyé le circuit. Il reste certes quelques traces claires de mon intervention, mais hormis le côté esthétique, je pense que cela devrait aller maintenant.

Tentatoo – Très bien. Ne vous reste donc qu'à souder les composants, et à faire quelques mesures de tension sur le circuit, afin de vérifier que tout va bien de ce côté-là. De préférence, ne montez pas tout de suite les circuits intégrés sur leur support.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Je peux raccorder le limiteur de modulation à l'alimentation principale ?

Tentatoo – Oui, maintenant que tous les composants (hormis les circuits intégrés) sont en place, vous le pouvez. Le plan de câblage est visible en **figure 6.12**, l'alimentation arrive sur J2, en bas au centre du circuit.

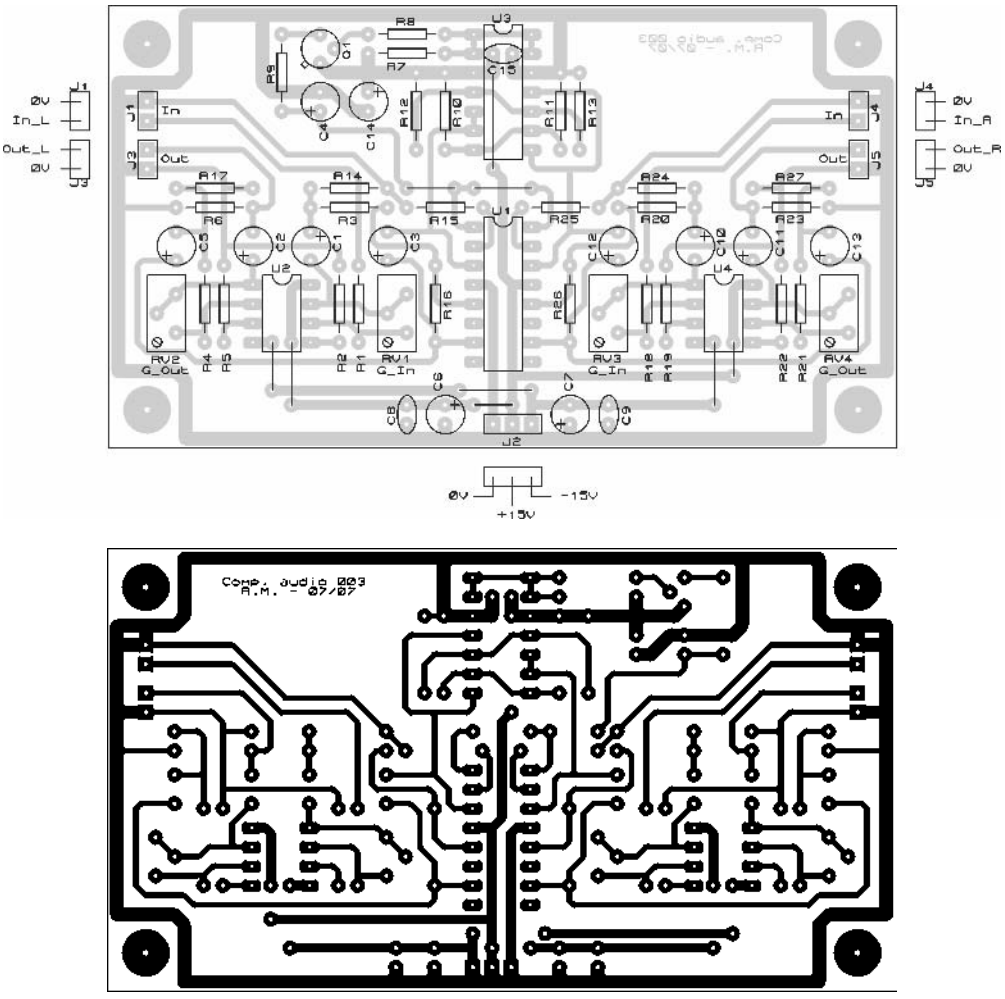
Sepatoo – Tiens, c'est bizarre, je mesure –15 V au lieu de +15 V sur la patte 8 de U2.

Tentatoo – COUPEZ L'ALIMENTATION, VITE !

Sepatoo – AAAAH ! Vous m'avez fait peur !

Tentatoo – Vous avez de la chance qu'aucun condensateur chimique n'ait explosé. La prochaine fois, préparez-vous à tout éteindre dès que vous sentez qu'il y a une anomalie. Là, visiblement, avoir du –15 V à la place du +15 V n'est pas vraiment normal, vous avez très probablement inversé les deux fils d'alimentation +15 V et –15 V.

Figure 6.12



http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Pourtant, à bien y regarder, le câblage de l'alimentation est correct.

Tentatoo – Vérifiez une nouvelle fois, il n'est vraiment pas normal de trouver une tension de polarité opposée en ce point. À moins que… Mais dites-moi, vous avez bien parlé de la patte 8 de U2 ?

Sepatoo – Eh bien oui, pourquoi ?

Tentatoo – Regardez le schéma d'implantation des composants, et comparez-le avec votre circuit. Ne remarquez-vous rien concernant U2 ?

Sepatoo – Oh, j'ai soudé le support de U2 à l'envers. Et ce que je pensais être la patte 8 est en fait la patte 4, qui doit bien recevoir du –15 V. Ouf, rien de grave.

Tentatoo – Rien de grave, certes. Mais imaginez ce qui se serait passé si vous vous étiez dépêché de tester le tout directement, sans prendre le soin de procéder à cette petite vérification ?

Sepatoo – Ne parlons pas de catastrophe, tout se passe bien, non ?

Tentatoo – Je vous demanderai tout de même de dessouder le support et de le remettre à l'endroit.

Sepatoo – Mais pourquoi faire ? Maintenant que je sais qu'il est à l'envers, je mettrai le circuit intégré à l'envers aussi et tout sera câblé comme il faut.

Tentatoo – Aujourd'hui, vous vous en souvenez. Mais imaginez que vous deviez changer le circuit intégré en question dans cinq ans. Croyez-vous vous souvenir de ce détail sans importance ?

Sepatoo – Ce n'est pas faux, il est possible que je ne m'en rappelle plus. Je vais donc suivre votre conseil et ressouder le support dans le bon sens.

Tentatoo – Voilà qui est plus sage. Voici un morceau de tresse à dessouder, au cas où la pompe à dessouder ne vous suffirait pas.

Sepatoo – Voilà, mon circuit est cette fois tout à fait prêt. Dois-je y injecter un signal audio et le régler maintenant ?

Tentatoo – Nous n'allons pas le régler maintenant, mais nous allons tout de même nous assurer de la présence d'un signal en sortie du limiteur quand on applique un signal audio en entrée. Ainsi, si quelque chose ne fonctionne pas, il sera plus facile de chercher la source du problème.

Sepatoo – La présence de la fonction LINK qui lie les deux voies gauche et droite du limiteur impose-t-elle d'appliquer un signal audio simultanément sur les deux entrées ?

Tentatoo – Non, absolument pas. Testez une voie, puis ensuite l'autre. Un simple signal audio sinusoïdal, de 1 à 2 V d'amplitude et de fréquence 1 kHz ira très bien pour ce test. Pendant que vous y êtes, ne vous contentez pas de regarder s'il sort quelque chose du limiteur. Poussez progressivement les potentiomètres de gain d'entrée RV1 et RV3 à fond, et regardez ce qui se passe en sortie.

Sepatoo – Le circuit sort bien le signal que je lui entre, et quand je tourne les potentiomètres de gain d'entrée, le signal en sortie monte, ce qui me semble normal. Ah, j'ai parlé trop vite, le signal en sortie n'augmente plus, alors qu'en entrée je ne suis pas encore au maximum.

Tentatoo – Qu'en concluez-vous ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Que la fonction limiteur est entrée en service ?

Tentatoo – Parfait. Vous avez bien compris le fonctionnement de ce circuit, et vous venez de voir qu'il fonctionnait. Je vous laisse vérifier le fonctionnement de l'autre voie, et ensuite nous pourrons continuer avec le circuit suivant.

Sepatoo – Le gros circuit de codage stéréo ?

Tentatoo – Oui, pourquoi ?

Sepatoo – J'aimerais bien faire une petite pause avant d'attaquer ce circuit. M'y autorisez-vous ?

Tentatoo – Encore ? Mais nous venons d'en faire une ! Soit, je vous accorde une autorisation exceptionnelle, si cela peut vous permettre d'attaquer la suite avec moins d'appréhension.

Sepatoo – Merci, mon maître.

Tentatoo – Mais enfin, combien de fois ai-je pu vous dire que je n'aimais pas que vous m'appeliez ainsi.

Sepatoo – Hi, hi.

6.5 Réalisation du codeur stéréo

Tentatoo – Le codeur stéréo nécessite un signal à 38 kHz pour générer la sous-porteuse 38 kHz qui est modulée par le signal différence A–B. Nous avons vu tout à l'heure qu'il était possible de constituer des signaux 38 kHz et 19 kHz de différentes façons, nous scinderons donc la réalisation des circuits assurant la fonction de codage stéréo, en deux parties : le circuit de codage stéréo à proprement parler, et la partie oscillateur 38 kHz. Afin de pouvoir essayer les trois types d'oscillateurs proposés, et comme je vous l'avais déjà annoncé, ces derniers sont construits sur des circuits de dimensions identiques. Je vous propose de commencer par la construction de ces circuits d'horloge, avant de réaliser le codeur stéréo, car cela nous permettra de tester ce dernier en une seule étape.

Codeur stéréo – Partie 1 : oscillateurs 38 kHz

Sepatoo – Et si nous commencions avec le circuit à NE555 ?

Tentatoo – Je n'y vois aucun inconvénient, bien sûr.

• *Oscillateur 38 kHz libre à NE555*

Sepatoo – C'est mon préféré !

Tentatoo – Et le moins performant, si je puis me permettre de vous rappeler ce ridicule détail. Notez qu'il manque un composant sur le prototype présenté en **figure 6.13** : le condensateur C5 relié entre la broche 5 du NE555 et la masse, est en effet soudé côté cuivre. Je l'avais bêtement oublié, celui-là. Mais rassurez-vous, le circuit imprimé que je vous propose a été mis à jour pour corriger mon oubli, comme vous pouvez le constater sur le circuit de la **figure 6.14**.

Sepatoo – Il vous arrive donc d'oublier des choses aussi simples ?

http://fribok.blogspot.com/

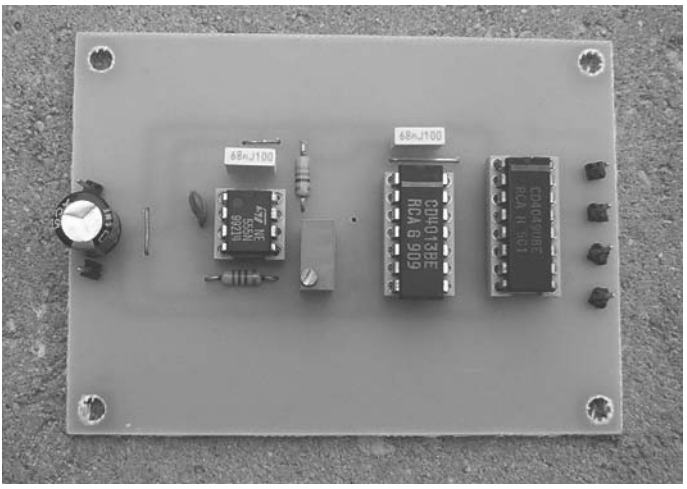
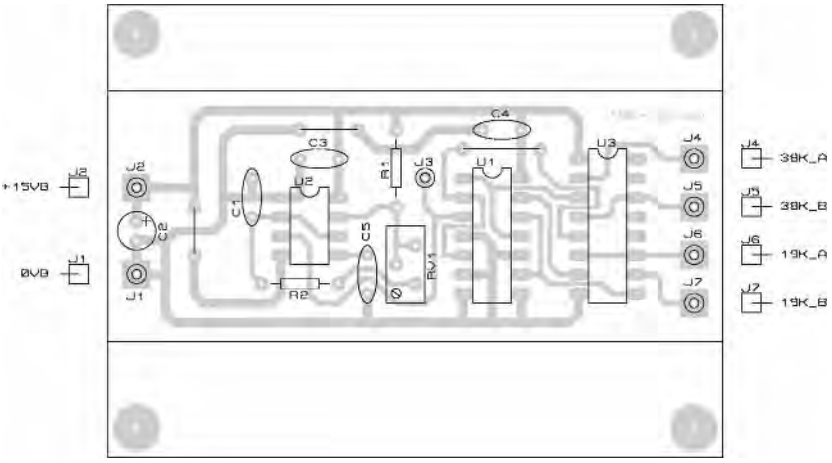


Figure 6.13



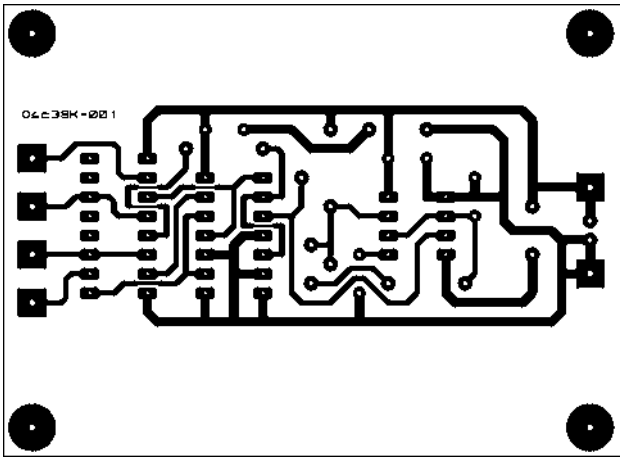


Figure 6.14

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Et pourquoi diable cela ne pourrait-il pas m'arriver ?

Sepatoo – Eh bien, avec votre expérience, je pensais que…

Tentatoo – Aussi étonnant que cela puisse vous paraître, il m'arrive encore bien des fois de faire des bêtises ou d'oublier des choses évidentes, erreurs que je localise parfois après bien des heures de recherche.

Sepatoo – Finalement, je ne devrais pas avoir honte quand ça m'arrive.

Tentatoo – Bien sûr que non ! Je trouve d'ailleurs que parfois, cela a un petit côté amusant, même si j'avoue me tirer les cheveux dans tous les sens à certains moments.

Sepatoo – Vous trouvez ça amusant de perdre du temps pour des erreurs toutes bêtes ?

Tentatoo – Eh bien oui. Quand je trouve, je me dis que j'ai été bien sot, et je souris dans ma barbe.

Sepatoo – Mais vous n'êtes pas barbu !

Tentatoo – Et alors, ça ne m'empêche pas de sourire.

Sepatoo – Ah, vous avez raison.

Tentatoo – Bien, le circuit est terminé, à ce que je vois. Comment comptez-vous le tester ?

Sepatoo – Eh bien, en l'alimentant, pour commencer.

Tentatoo – Je constate que vous avez pris de l'assurance, et ne jugez plus nécessaire de vérifier les tensions avant de mettre les circuits intégrés sur leur support.

Sepatoo – Il n'y a pas de raison, si tout allait bien jusqu'à maintenant, pourquoi en irait-il autrement pour les futurs circuits ?

Tentatoo – Je préfère ne pas répondre à cette question. Alors, que donne le circuit ?

Sepatoo – Je mesure une fréquence de 18,854 kHz sur la sortie 19KA, borne J6. Je suppose donc qu'il me faut ajuster le potentiomètre ajustable RV1 jusqu'à obtenir la valeur de 19 kHz.

Tentatoo – Si je puis me permettre un conseil, il est préférable de faire la mesure sur la sortie 76K, borne J3. La précision du réglage sera meilleure.

Sepatoo – Ah bon. Je mesure une fréquence de 75,520 kHz en ce point J3. C'est curieux, ce n'est pas exactement le quadruple de la fréquence mesurée en borne J6.

Tentatoo – Cela signifie tout simplement qu'entre vos deux mesures, la fréquence d'oscillation a un peu dérivé. Je vous suggère d'attendre quelques minutes afin que le circuit se stabilise en température. Ensuite, vous pourrez effectuer l'ajustement en fréquence.

Sepatoo – Effectivement, la fréquence bouge de moins en moins. Cela me rassure ! Voilà la fréquence ajustée à 76,001 kHz, cela devrait bien aller comme ça, je pense. Et à la borne J6, je mesure bien 19,000 kHz. Génial ! Ah tiens, 19,001 kHz… Oh, 19,002 kHz. Pas si génial, finalement.

Tentatoo – Je pense que vous n'avez pas attendu assez longtemps que le circuit se stabilise. De plus, le circuit est posé sur la table et j'ai senti un courant d'air. Il est possible que la température de l'air ambiant autour du circuit ait un peu évolué.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Mais je croyais que le NE555 n'était pas sensible à la température.

Tentatoo – Tout composant (ou presque) y est sensible, dans une plus ou moins grande proportion. Une variation de 2 Hz par rapport à 19 kHz n'est pas si énorme que ça, si vous y regardez bien, cela correspond à un écart de l'ordre de 0,1 %. Saviez-vous que les résistances que nous avons utilisées possèdent un coefficient de température de 100 ppm par degré Celsius ?

Sepatoo – Mais ces 0,1 % sont trop pour une application professionnelle, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Exactement. C'est pourquoi on ne peut pas s'en contenter.

Sepatoo – Je comprends mieux, maintenant que je le vois sous mon nez. J'avoue que j'avais un peu de mal à admettre que ce circuit ne pouvait pas convenir.

Tentatoo – Ce circuit est très bien pour faire des tests, mais ne convient pas à une utilisation permanente. Je tenais effectivement à ce que nous le réalisions pour vous permettre de mieux « sentir » le phénomène.

Sepatoo – Voilà qui est réussi. Et si nous passions au second oscillateur.

Tentatoo – Comme bon vous semble. Allons-y.

• *Oscillateur à quartz 38 kHz*

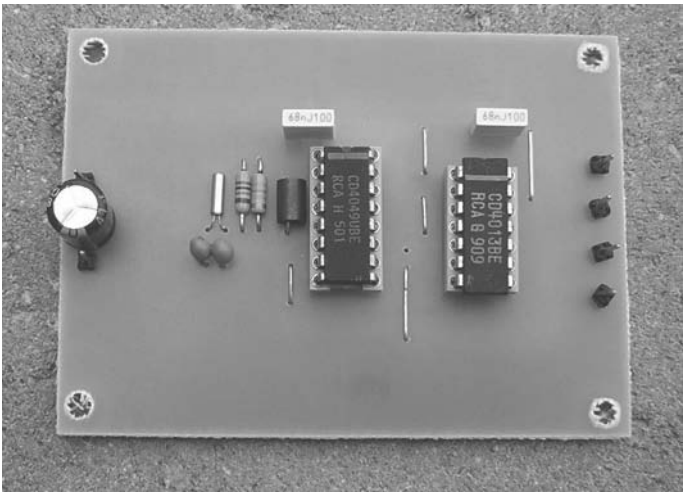


Figure 6.15

Sepatoo – Dommage qu'on ne trouve pas facilement de quartz 38 kHz, sinon j'aurais essayé ce circuit immédiatement.

Tentatoo – Si j'ai réussi à en trouver, c'est que ce n'est pas si difficile que ça. Mais je vous comprends.

Sepatoo – Vous m'avez dit avoir commandé et reçu plusieurs de ces quartz. Accepteriez-vous de m'en prêter un, un de ces jours ?

Tentatoo – Mais cela va de soi. Je pense même que vous pourrez en garder un, je n'ai pas l'intention d'en faire un autre usage pour le moment.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – C'est trop gentil de votre part, mais je ne peux accepter. Je vous le rendrai une fois mes essais terminés, je vous le promets.

Tentatoo – Faites comme bon vous semble, mais sachez que cela ne me gêne en aucune manière.

Sepatoo – Et la dernière version d'oscillateur 38 kHz ?

Tentatoo – Parce que finalement, vous ne comptez pas réaliser cette deuxième version ?

Sepatoo – Si, j'allais oublier.

Tentatoo – Voici les composants, y compris le quartz. Attention, ce composant est petit et fragile. Faites attention de ne pas le choquer ou de le laisser tomber, il ne supporterait sans doute pas, ce qui serait fort dommage. Et ne le faites pas trop chauffer non plus en le soudant, il n'aimerait pas non plus.

Sepatoo – Bigre, l'expéditeur a dû prendre de sacrées précautions d'emballage avant de vous envoyer ces quartz.

Tentatoo – Je les ai reçus dans une enveloppe papier ordinaire, entre deux feuilles A4.

Sepatoo – Et ils fonctionnent encore ?

Tentatoo – Nous allons bientôt le savoir. Tenez, voici les indications de câblage en **figure 6.16**.

Sepatoo – Le circuit est fini, on peut brancher ?

Tentatoo – Allez-y.

Sepatoo – Victoire, ça oscille ! Tiens, on n'a pas 19,000 kHz, mais 19,001 kHz. Y aurait-il un problème ?

Tentatoo – Non, aucun problème. Il est possible d'ajuster précisément la fréquence d'oscillation à 19,000 kHz, en remplaçant le condensateur fixe C2 par un condensateur ajustable. Mais je n'ai pas jugé utile de pousser la précision jusque-là, d'autant plus que j'ai un tout petit doute quant à la précision d'affichage de mon fréquence-mètre, qui est un vieux modèle de récupération qui n'a pas été entretenu depuis fort longtemps. Croyez-moi, le principal est que cette fréquence soit stable et ne dérive pas trop dans le temps.

Sepatoo – Vous dites « ne dérive pas trop ». Cela veut-il dire que l'oscillateur à quartz risque de dériver tout comme le circuit à NE555 ?

Tentatoo – Non, fort heureusement. Tout du moins pas avec le même ordre de grandeur. Tout circuit oscillateur dérive dans le temps. Ceux qui vendent des oscillateurs tout faits précisent d'ailleurs l'ordre de grandeur de la dérive potentielle, dans les données techniques de l'oscillateur. On peut ainsi trouver un oscillateur à quartz qui présente une stabilité à court terme de 10 ppm entre 0 et 70 °C, et une stabilité à long terme de l'ordre de 100 ppm sur 5 ans (ppm pour *part per million*). Il s'agit des caractéristiques sur lesquelles on peut compter avec notre montage. Ce qui est déjà très bien, vous ne trouvez pas ?

Sepatoo – Je vous crois sur parole. Et pour ce qui est du troisième oscillateur ?

http://fribok.blogspot.com/

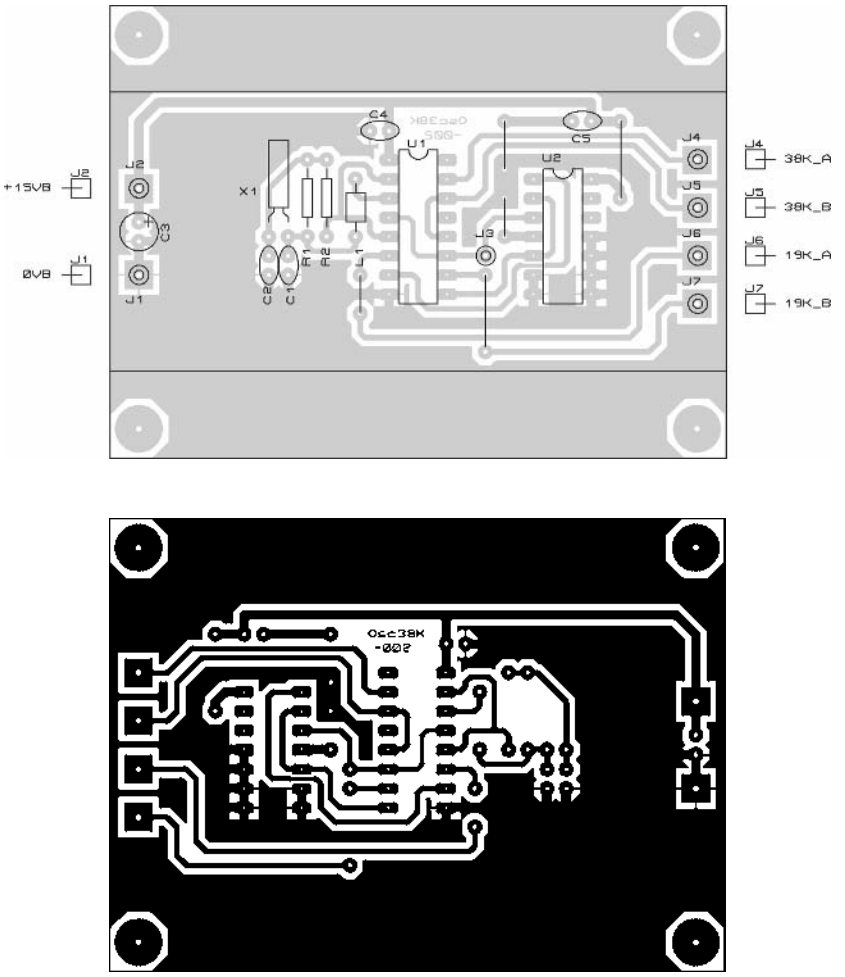


Figure 6.16

• *Oscillateur 38 kHz à quartz 4,096 MHz et PLL*

Tentatoo – On peut penser que la précision sera encore plus grande, puisque la dérive en fréquence du quartz (liée principalement à la température), sera divisée par 215 environ pour le signal final à 19 kHz (4,096 MHz/19 kHz = 215,5). Pourtant, en terme de pourcentage, il s'agit bien de la même dérive, avant et après division de fréquence.

Sepatoo – Je veux l'essayer !

Tentatoo – Votre empressement fait plaisir à voir. Vous savez ce qu'il vous reste à faire.

Sepatoo – Ne pouvez-vous pas m'aider un peu pour ce circuit, je commence à avoir des grosses fourmis rouges dans les bras.

Tentatoo – Bien sûr que je peux vous aider, je vous l'ai proposé dès le début des opérations. Je vous laisse le détail du câblage en **figure 6.18**, afin que vous puissiez suivre un peu ce que je fais, et me corriger le cas échéant.

http://fribok.blogspot.com/

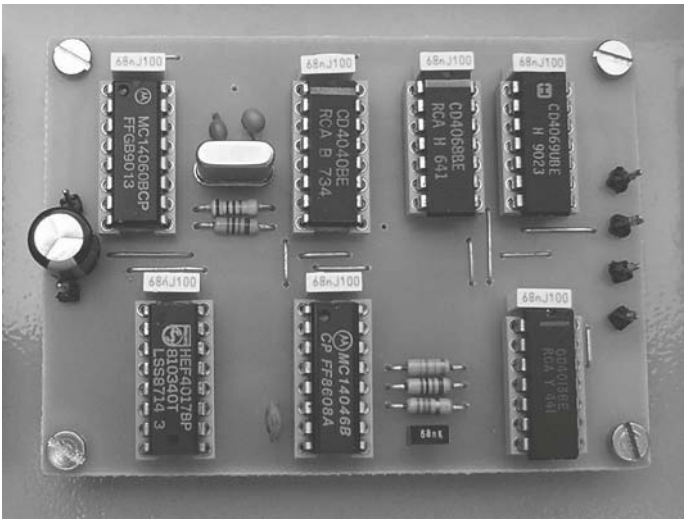


Figure 6.17

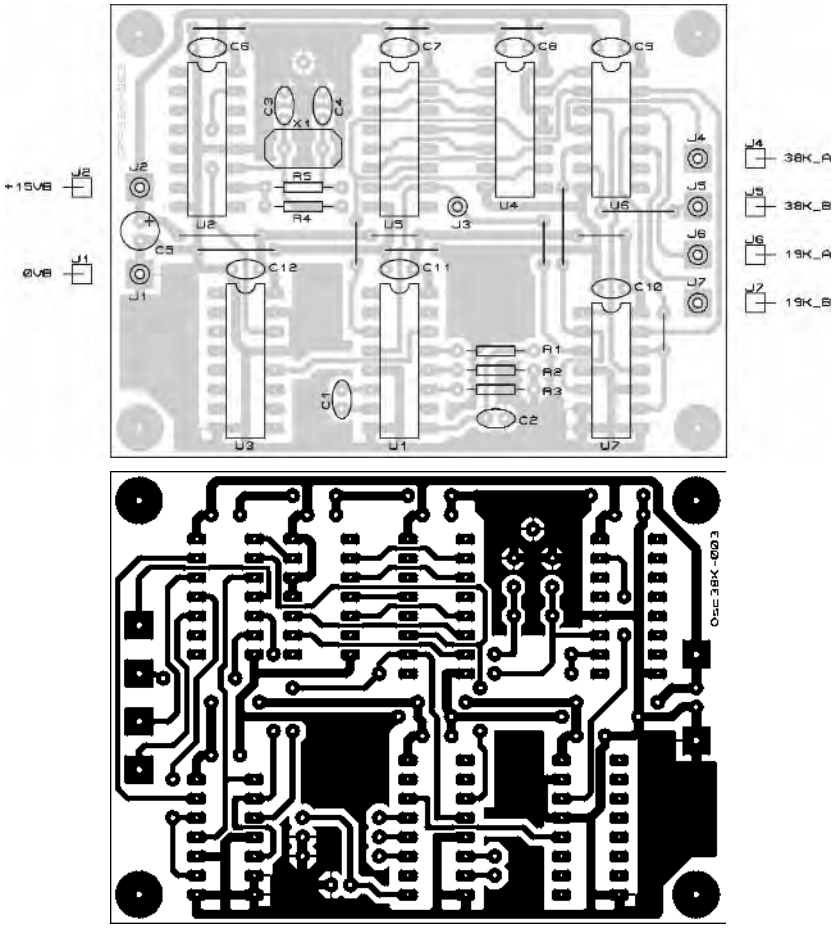


Figure 6.18

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Et voilà le travail.

Sepatoo – Oh, que c'est beau. J'ai toujours trouvé très beaux les circuits imprimés avec plein de circuits intégrés.

Tentatoo – Vous auriez sans nul doute été heureux avec les circuits informatiques des années 1970 à 1980.

Sepatoo – Je ne saurais vous dire, j'ai tout de même un vague souvenir des circuits de cette époque, qui me semblaient tout de même un peu complexes pour moi, et de surcroît en double face.

Tentatoo – Vous avez souvenir de ce genre de circuit ?

Sepatoo – Je possède encore quelques vieilles revues qui en faisaient publicité. J'ai toujours été impressionné de savoir que des gens arrivaient à fabriquer de telles merveilles.

Tentatoo – Il est vrai qu'à cette époque, certains circuits étaient vraiment impressionnants. Et si nous retournions à notre petit circuit minus minus à seulement sept circuits intégrés ?

Sepatoo – Eh bien, je ne comprends pas, il n'oscille apparemment pas, puisque je ne vois aucun signal sur l'ensemble des sorties. Il semble pourtant correctement alimenté.

Tentatoo – Que suggérez-vous ?

Sepatoo – Trouver la panne ?

Tentatoo – Oui, mais encore ?

Sepatoo – Commencer par voir si l'oscillateur oscille, par exemple en auscultant la sortie Q3, borne 7, de U2.

Tentatoo – Je vous laisse champ libre pour vérifier ce point.

Sepatoo – J'ai trouvé la panne ! Le circuit U2 n'oscille pas.

Tentatoo – Selon vous, quelle peut être la cause ?

Sepatoo – Je ne sais pas, le circuit U2 est peut-être défectueux. Ou alors c'est le quartz qui a pris un choc trop violent.

Tentatoo – Et si vous regardiez d'un peu plus près le circuit imprimé et le plan d'implantation ?

Sepatoo – Mais, il manque les deux condensateurs C3 et C4 ! Les auriez-vous volontairement omis ?

Tentatoo – Et oui, il m'arrive de faire quelques blagues de temps en temps. Vous ne m'en voulez pas j'espère.

Sepatoo – Bien sûr que non, vous avez raison, c'est rigolo. Ma première réaction a été de penser qu'il y avait un élément défectueux. Voilà que je me mets à rire dans ma moustache.

Tentatoo – Mais vous n'avez pas de moustache.

Sepatoo – Ah ! Je vous ai bien eu !

Tentatoo – J'avoue que là… Si nous passions à des choses plus sérieuses ? Vous reprendrez bien la main pour le codeur stéréo, n'est-ce pas ?

Sepatoo – Je rigole moins, mais j'accepte.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

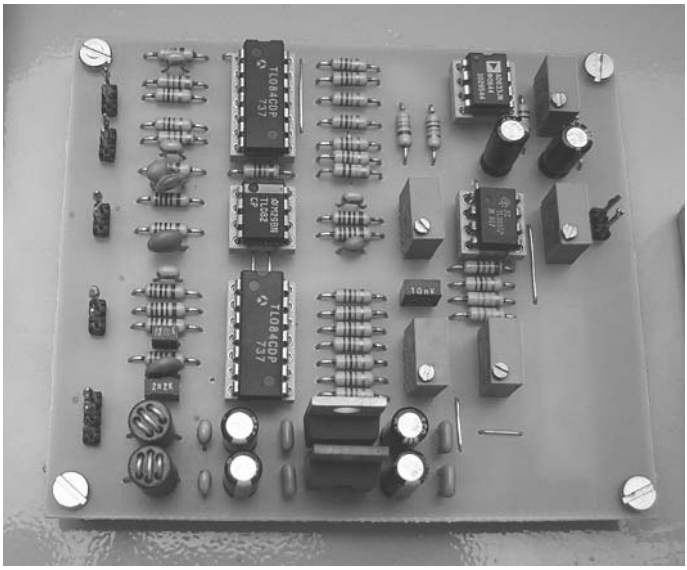


Figure 6.19

Sepatoo – Regardez, j'ai presque fini de souder les composants du codeur stéréo, il ne reste que les régulateurs de tension à mettre en place. Je vais vite, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Ne vous pressez tout de même pas trop, certaines soudures risquent d'être mal faites. Mais au fait, avez-vous pensé aux straps ?

Sepatoo – Aux straps ?

Tentatoo – Oui, avez-vous soudé les straps qui passent sous les circuits intégrés ?

Sepatoo – Oh, je n'avais pas vu qu'il y avait des straps à cet endroit. Dois-je dessouder tous les supports de circuit intégré ?

Tentatoo – J'accepte cette fois que vous effectuiez les liaisons par le dessous du circuit, c'est-à-dire côté cuivre, avec des petits morceaux de fil isolés. Cela vous évitera de dessouder les supports. Mais soyez plus attentif par la suite. Vous voyez ce qui arrive quand on va trop vite.

Sepatoo – Je me sens un peu honteux.

Tentatoo – Rassurez-vous, ce genre de situation m'est arrivé plus d'une fois. C'est parfois un peu agaçant, mais rarement insurmontable. Votre cas est un problème bien minime vous en conviendrez.

Sepatoo – Promis, je ferais désormais toujours bien attention.

Tentatoo – Je vous l'ai dit, ce n'est pas bien grave. Et si nous testions un peu ce codeur stéréo ? Avez-vous une méthode ou plusieurs méthodes de tests à me proposer ?

Sepatoo – Dans un premier temps, j'aimerais bien vérifier la présence des tensions à quelques endroits clés du circuit. Me le permettez-vous ?

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – La question ne se pose même pas. Faites ce qu'il vous semble juste de faire.

Sepatoo – Je mesure les bonnes tensions, à savoir +12 V et –12 V en sortie des régulateurs de tension et sur les pattes d'alimentation des supports de circuit intégré. Je peux donc maintenant enficher les circuits intégrés sur leur support.

Tentatoo – Attention, vous n'avez pas coupé l'alimentation !

Sepatoo – Vous avez raison, ça aurait pu faire des étincelles.

Tentatoo – Ou faire griller les circuits intégrés !

Sepatoo – C'est à ce point dangereux ? Je ferai attention à l'avenir. Maintenant, et dans un premier temps, je mettrais bien un signal audio identique sur les deux voies gauche et droite, afin de vérifier que l'on a bien quelque chose en A+B, sur la sortie 8 de U1, et rien en A–B, sortie 14 de U1.

Tentatoo – C'est effectivement la première chose à faire. En faisant ce test, qu'observez-vous ?

Sepatoo – J'ai un signal de bonne amplitude en A+B, sortie 8 de U1, ce qui est normal, mais j'observe un faible signal en A–B, sortie 14 de U1, alors que je ne devrais normalement rien avoir.

Tentatoo – Bienvenue dans le monde réel de l'électronique, et de la tolérance des composants. Cela est normal et vous ne devez pas vous inquiéter. L'amplitude que vous observez en A–B est tout de même beaucoup moins importante que celle mesurée en A+B, il ne faut pas s'en alarmer pour autant. Pour bien faire, il aurait fallu ajouter un voire deux potentiomètres ajustables pour parfaire l'équilibre des addition et soustraction. Mais j'ai jugé que cela n'était pas nécessaire pour un montage de ce type, et comme vous le verrez par la suite, les résultats obtenus dans l'ensemble seront plus qu'honnêtes. Je résume donc, ce premier test est positif. Et le second ?

Sepatoo – Celui qui consiste à appliquer sur les voies gauche et droite, deux signaux identiques en fréquence et en amplitude, mais en opposition de phase ? Je m'en vais de ce pas opérer le câblage et faire les mesures.

Tentatoo – Bien, je constate que tout ce que nous avons dit au sujet des signaux en et hors phase n'est pas entré par une oreille et ressorti par l'autre.

Sepatoo – C'est que le sujet m'intéresse.

Tentatoo – J'en suis fort content, et je l'avais bien remarqué, figurez-vous. Alors, que donne la mesure ?

Sepatoo – Eh bien, avec des signaux en opposition de phase sur les entrées gauche et droite, je constate une hausse significative de l'amplitude du signal A–B, et le signal A+B est devenu tout riquiqui, presque nul. Mais il y a une chose que je ne comprends pas, le signal en A–B est beaucoup plus fort que le signal en A+B que nous avions lors du premier test. Pourtant, je n'ai pas touché à l'amplitude du générateur BF.

Tentatoo – Vous n'avez touché à rien d'autre, êtes-vous bien sûr ?

Sepatoo – Si, un tout petit peu à la fréquence du signal de test, juste pour voir si cela influait sur le comportement des additionneur et soustracteur.

Tentatoo – Tout s'éclaire donc, non ?

Sepatoo – Je ne comprends pas.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Quelle était la fréquence du signal audio lors du premier test, et lors du second ?

Sepatoo – 1 kHz pour le premier test, et 5 kHz pour le second. L'écart est assez faible, tout de même.

Tentatoo – C'est un écart suffisamment important pour que la cellule de préaccentuation ait son mot à dire, tout de même. Ce phénomène est tout à fait normal. Si vous poussez la fréquence d'entrée à 10 kHz, vous observerez une augmentation d'amplitude encore bien plus importante, presque quatre fois plus grande par rapport au signal d'entrée.

Sepatoo – J'avais presque oublié ce circuit de préaccentuation, et durant un instant, j'ai cru que j'avais fait une erreur de mesure. J'en conclus donc que tout le circuit d'entrée du codeur stéréo, à savoir préaccentuation, addition et soustraction, fonctionne bien.

Tentatoo – L'idéal aurait tout de même été de faire les deux mesures avec la même fréquence, les comparaisons auraient été plus simples. Mais sachant de quoi nous parlons, nous pouvons continuer. J'imagine que vous devinez ce qu'il reste à faire ?

Sepatoo – Tester les filtres 19 kHz et 38 kHz, ainsi que le modulateur MAPS ?

Tentatoo – Exactement ! Je vous laisse donc relier les sorties 38 kHz (J4, 38K_A) et 19 kHz (J6, 19K_A) du module oscillateur de votre choix, sur les entrées 38 kHz (J3, 38K_Rect) et 19 kHz (J4, 19K_Rect) du codeur stéréo, selon les indications de câblage données en **figure 6.20**. Inutile de relier les masses des connecteurs 19K et 38K du codeur stéréo avec la masse de l'oscillateur, puisqu'elles sont déjà rendues communes (interconnectées) par le biais du module d'alimentation.

Sepatoo – Vous voulez dire que l'on peut se passer de câble blindé et utiliser du fil de câblage simple ordinaire ?

Tentatoo – Pour les tests, vous pouvez utiliser des fils simples non blindés. Mais pour la réalisation finale, il vous faudra impérativement utiliser du câble blindé, dont la tresse de masse ne sera câblée que d'un côté.

Sepatoo – Bien, je raccorde donc les fils d'alimentation, les deux liaisons 38 kHz et 19 kHz entre oscillateur et codeur stéréo, et je regarde à l'oscilloscope ce que j'ai sur la sortie 7 de U5 pour le 38 kHz, et ce que j'ai sur la sortie 7 de U4 pour le 19 kHz. Eh bien dans les deux cas, j'ai une sinusoïde qui m'a l'air pas mal. Elle ne me semble pas tout à fait parfaite, cela est-il très gênant ?

Tentatoo – Vu la simplicité des filtres passe-bas mis en œuvre ici, les sinusoïdes 19 kHz et 38 kHz ne peuvent pas être absolument parfaites. Cependant, ce que l'on a là est déjà correct et suffira bien pour notre ensemble. Maintenant que nous avons validé le bon fonctionnement des filtres, que proposez-vous de vérifier ?

Sepatoo – Le modulateur MAPS, comme convenu. Laissez-moi deviner. Nous avons vu que le modulateur MAPS ne délivrait aucun signal modulé si on n'appliquait aucun signal modulant. Même chose si *a fortiori* on ne lui applique pas de signal à moduler.

Tentatoo – De signal à moduler… vous parlez de la porteuse, je suppose.

http://fribok.blogspot.com/

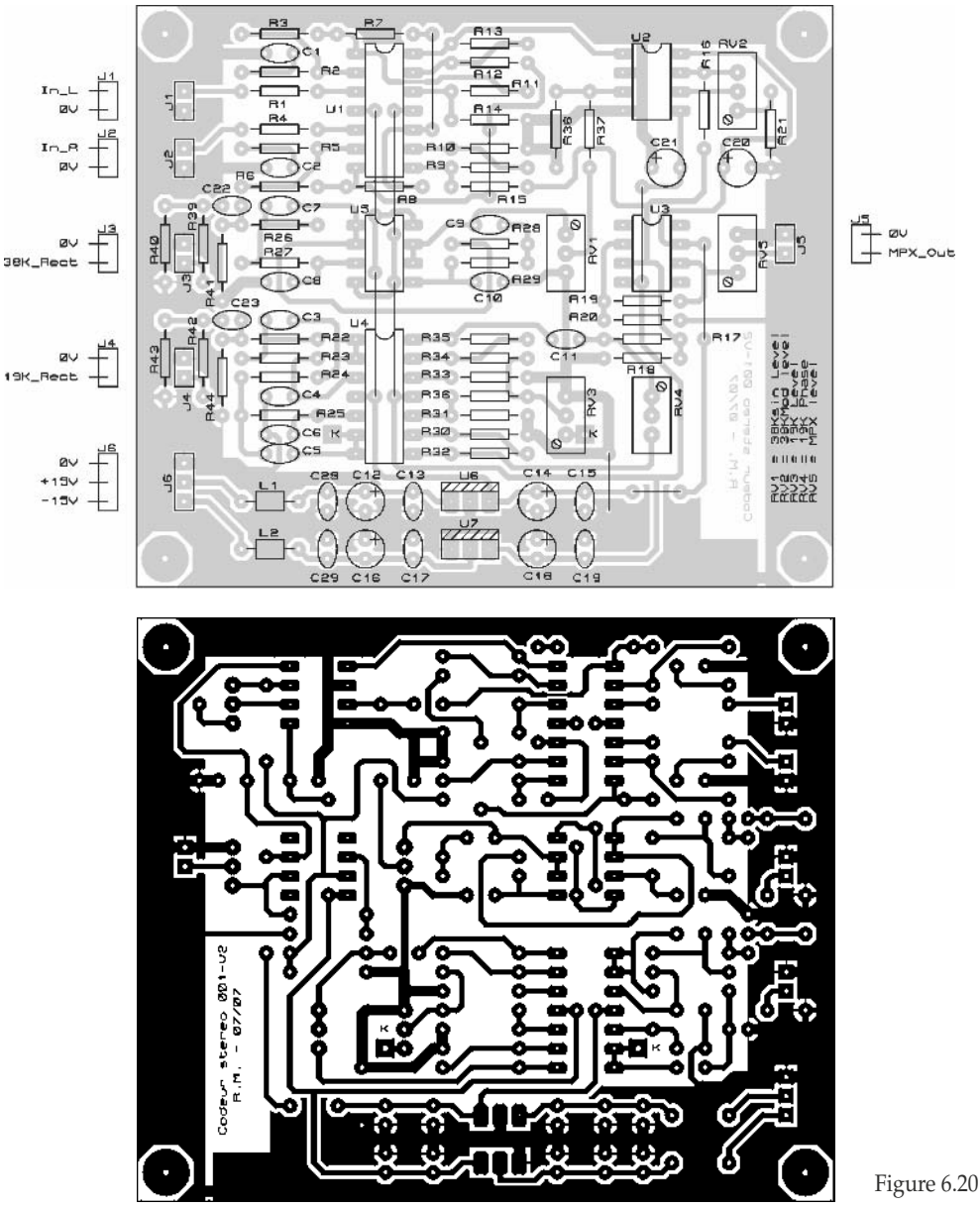


Figure 6.20

Sepatoo – De la porteuse, oui. J'en déduis donc qu'il nous reste à appliquer un signal quelconque sur les entrées audio du codeur, tout en laissant les signaux 19 kHz et 38 kHz en place.

Tentatoo – Nous n'avons pas besoin du 19 kHz pour tester le modulateur MAPS, je vous suggère donc de le débrancher pour le moment.

Sepatoo – Bien. Voyons voir ce que l'on obtient. Pouvez-vous m'aider un peu et me dire précisément où je dois faire les mesures ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Pour le signal modulant A–B, je vous suggère de faire la mesure sur la patte 1 de U2. Pour la porteuse 38K_Sinus, placez la sonde de l'oscilloscope sur la patte 3 de ce même circuit U2. Pour finir, observez le signal modulé S sur la sortie de U2, patte 7.

Sepatoo – Je vous remercie, j'avais un petit doute. Voici en **figure 6.21**, les signaux que j'obtiens. Cela me semble correct pour la forme, même si j'ai toujours un peu de mal à admettre que l'on puisse avoir un maximum d'amplitude du signal modulé quand le signal modulant est à son minimum.

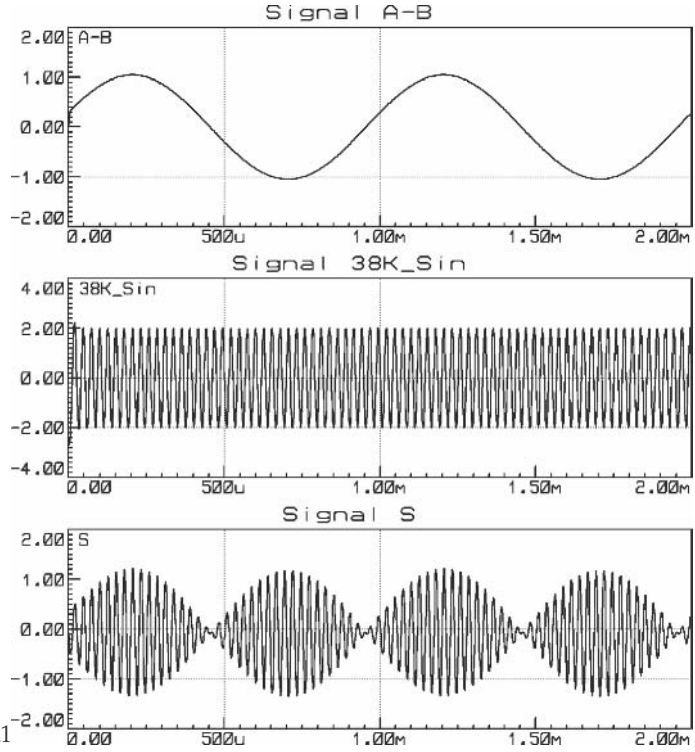


Figure 6.21

Tentatoo – Rappelez-vous que la porteuse 38 kHz est ici supprimée non pas quand le signal modulant est à son minimum algébrique (–1 V par exemple), mais quand il est à son minimum absolu (0 V). Pour une modulation d'amplitude ordinaire (porteuse non supprimée), le 0 V du signal modulant correspond à 50 % de modulation de la porteuse, et on peut avoir 100 % de modulation avec un signal modulant de +1 V et une modulation de 0 % avec un signal modulant de –1 V (en pratique, on essaye de s'approcher au plus près des 100 % de modulation sans les atteindre, pour éviter de passer au-delà de cette valeur car en la dépassant, la porteuse disparaît. On préfère d'ailleurs adopter une valeur de 95 % de modulation, pour bénéficier d'une petite marge de sécurité).

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ah. Tout cela est très bien. Donc, en ce qui nous concerne, notre modulateur fonctionne.

Tentatoo – Il semblerait bien, oui. Vous semblez déçu.

Sepatoo – Oh non, pas du tout. On règle le circuit de phase 19 kHz tout de suite ?

Tentatoo – Nous allons simplement vérifier la forme des signaux sur les sorties 8 et 14 de U4, mais procéderons au réglage précis plus tard.

Sepatoo – Je ne voudrais pas vous embêter trop avec ça, mais je ne comprends pas bien la technologie mise en œuvre pour ce circuit de mise en phase.

Tentatoo – Rien de méchant, il s'agit juste de deux amplificateurs opérationnels, l'un est monté en non-inverseur (U4:C), l'autre est monté en inverseur (U4:D), avec pour chacun un gain de 1, donc ni amplification ni atténuation. Vous devez donc trouver en sortie de U4:C, borne 8, un signal identique à celui présent sur le curseur du potentiomètre de niveau du pilote, RV3, et en sortie de U4:D, borne 14, le même signal mais en opposition de phase.

Sepatoo – Même chose finalement que le circuit utilisé pour la soustraction de nos signaux BF d'entrée.

Tentatoo – Même circuiterie en effet, mais avec une différence de taille, les deux sorties sont ici raccordées via un condensateur (C11) et une résistance ajustable (RV4). Au point commun (on pourrait presque parler de point de sommation), on retrouve un signal identique au signal 19 kHz d'entrée avec un déphasage qui dépend de la position du curseur du potentiomètre RV4, et dont l'amplitude ne varie pas en fonction de la valeur du déphasage. Cette cellule de déphasage aurait également pu être élaborée avec un transistor, dont on aurait utilisé les signaux fournis sur émetteur et collecteur.

Sepatoo – Le signal mesuré sur la sortie 8 de U4 est effectivement identique au signal présent sur le curseur de RV3. Et le signal mesuré sur la sortie 14 de U4 est bien en opposition de phase. Au point commun C11/RV4, appelé 19K_Sin sur le schéma, on a bien un signal dont la phase varie en fonction de la position de RV4. On le voit bien sur l'oscilloscope, lequel affiche en plus de ce signal, le signal 19K d'origine. On pourrait presque régler la phase, pendant que nous y sommes.

Tentatoo – Nous le pourrions en effet, mais je préfère que cela soit fait lors de la période des ajustements généraux. Regardons maintenant notre sommateur MPX, si vous le voulez bien.

6.6 Réalisation du sommateur MPX + RDS

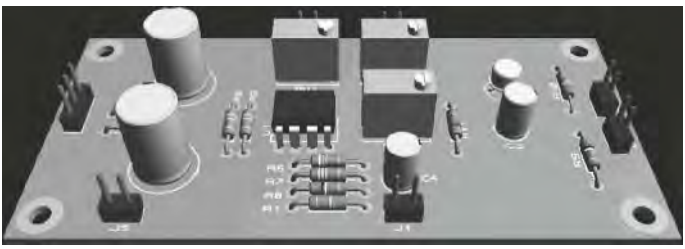


Figure 6.22

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Ce sommateur n'est pas indispensable, et vous pourrez l'ajouter si la diffusion de données annexes (RDS et/ou DARC) vous intéresse. Sans ce sommateur, le signal MPX généré par notre codeur stéréo va directement à l'entrée du modulateur FM.

Sepatoo – J'ai décidé de ne pas fabriquer ce module maintenant, mais je garde toutes les informations le concernant sous le coude.

Tentatoo – Voici le détail de câblage en **figure 6.23**, que vous pouvez mettre de côté.

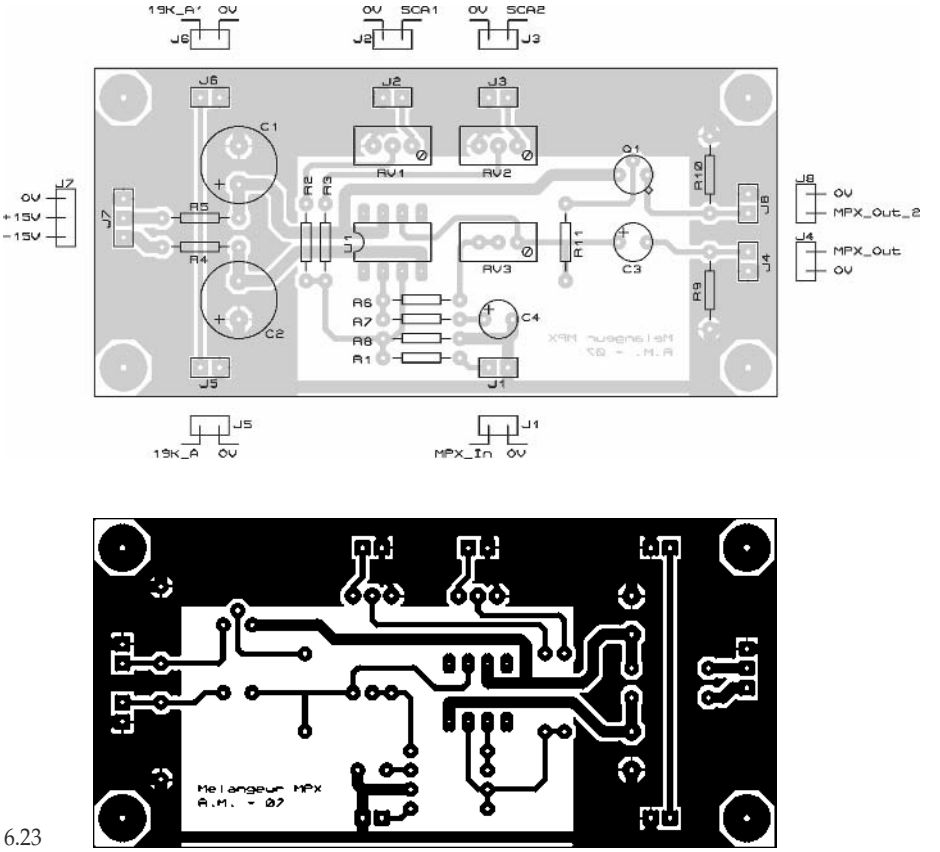


Figure 6.23

Sepatoo – Vous avez raison, ce sera toujours ça de moins à concevoir.

6.7 Réalisation du modulateur FM

Sepatoo – Impossible de se passer de ce module, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Pour sûr, j'imagine mal un émetteur FM sans modulateur FM. Bien entendu, si celui-ci ne vous plaît pas, parce qu'il n'y a pas de self à faire soi-même par exemple, vous pouvez toujours en construire un autre, ou même en acheter un tout fait.

Sepatoo – Ah, on peut acheter un modulateur FM tout fait ?

http://fribok.blogspot.com/

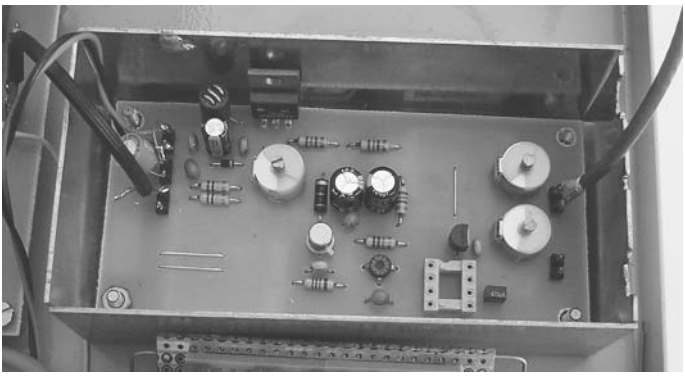


Figure 6.24

Tentatoo – Oui, on en trouve en kit, et des prémontés. Faites donc quelques recherches avec le mot clé VCO, dès que vous aurez un peu de temps. Vous pouvez aussi songer à acheter un petit émetteur FM mono complet, et à retirer toute la partie électronique relative à la basse fréquence (préamplification et préaccentuation), afin d'attaquer directement la partie haute fréquence avec votre signal multiplex.

Sepatoo – Ah tiens, c'est une idée. Je n'y aurais pas songé.

Tentatoo – En attendant, voici en **figure 6.25** le plan de câblage de notre modulateur.

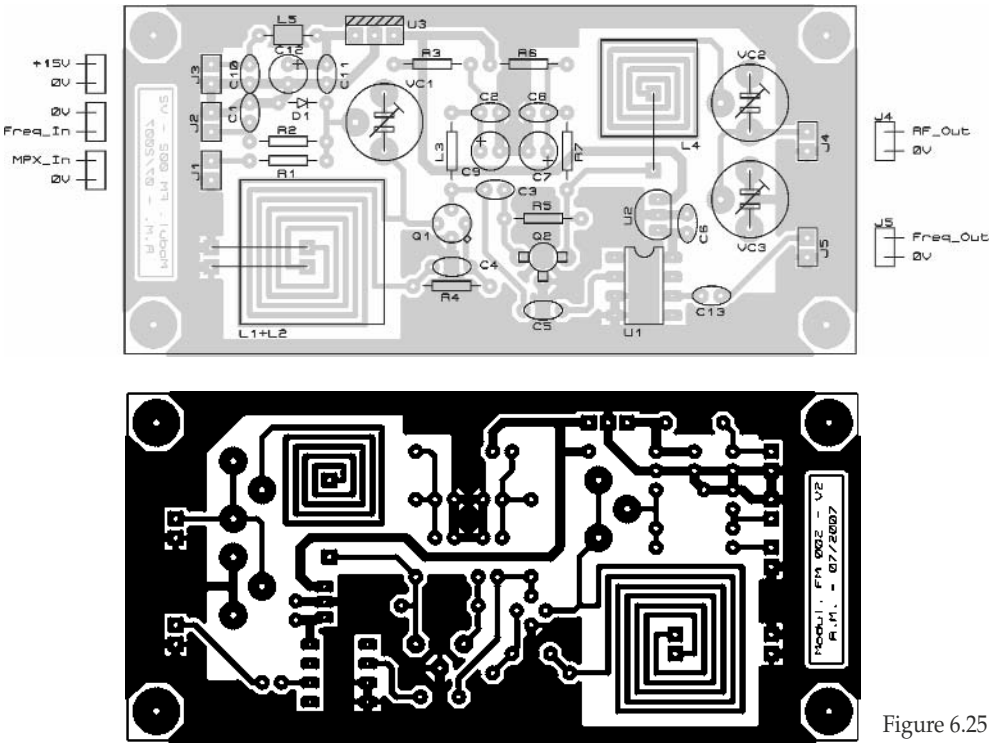


Figure 6.25

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Aaaaah ! J'aperçois les fameuses selfs que je n'ai pas besoin de réaliser.

6.8 Réalisation du TOS-mètre

Figure 6.26

Tentatoo – Au vu de la puissance de sortie RF de notre émetteur, ce TOS-mètre n'est pas vraiment indispensable. Mais il pourra vous être utile le jour où vous construirez un petit amplificateur de puissance.

Sepatoo – Le circuit imprimé que vous proposez a l'air plutôt symétrique…

Tentatoo – Sans doute parce qu'il l'est. À tel point que vous pouvez le brancher dans un sens ou dans l'autre. Bien entendu, si vous le branchez dans le sens inverse de celui représenté ici, la lecture de l'onde RF *Direct* se fait en plaçant l'inverseur SW1 sur la position *Réfléchi*. Et inversement. Une bonne méthode consiste à utiliser un boîtier (métallique) sur lequel l'entrée est placée à gauche et la sortie à droite. La gauche et la droite correspondent à la position du boîtier quand le galvanomètre qui est fixé dessus est tourné dans le bon sens et est donc lisible.

Sepatoo – À part ce détail évident, où sont donc les autres composants ? Je ne vois nulle part le condensateur C3 et le potentiomètre ajustable RV1.

Tentatoo – Premièrement, je n'ai jamais dit que RV1 devait être du type ajustable. Vous devez employer un potentiomètre de tableau classique, qui vous permettra d'étalonner l'appareil une fois terminé et raccordé entre l'émetteur et l'antenne. Deuxièmement, le condensateur C3 sera soudé directement aux bornes du galvanomètre.

Sepatoo – Ça va faire joli !

Tentatoo – Peu importe ici, que tous les composants ne prennent pas place sur le circuit imprimé. Il est même plutôt conseillé d'en mettre le moins possible ici, car les pistes sont plus des pistes de « captation » d'énergie plutôt que des pistes de « rangement » de composants.

Sepatoo – Soit. Reste donc à raccorder l'inverseur mécanique aux deux points Direct et Réfléchi du circuit, avec du fil simple.

Tentatoo – Je vous conseille vivement d'utiliser du câble blindé, à moins que vous réussissiez l'exploit de limiter la longueur des câbles à moins de quelques centimètres.

Sepatoo – Hum, je sens bien le coup venir… Je préfère utiliser du fil blindé. Cela tombe bien d'ailleurs, car il me reste justement des chutes de câble blindé dont je me suis servi pour faire mes cordons audio.

Tentatoo – En temps ordinaire, je vous aurais déconseillé l'emploi d'un câble BF dans un montage RF, mais comme ici les liaisons vers le galvano-

http://fribok.blogspot.com/

mètre transportent des signaux RF redressés et donc continus, vous le pouvez sans problème.

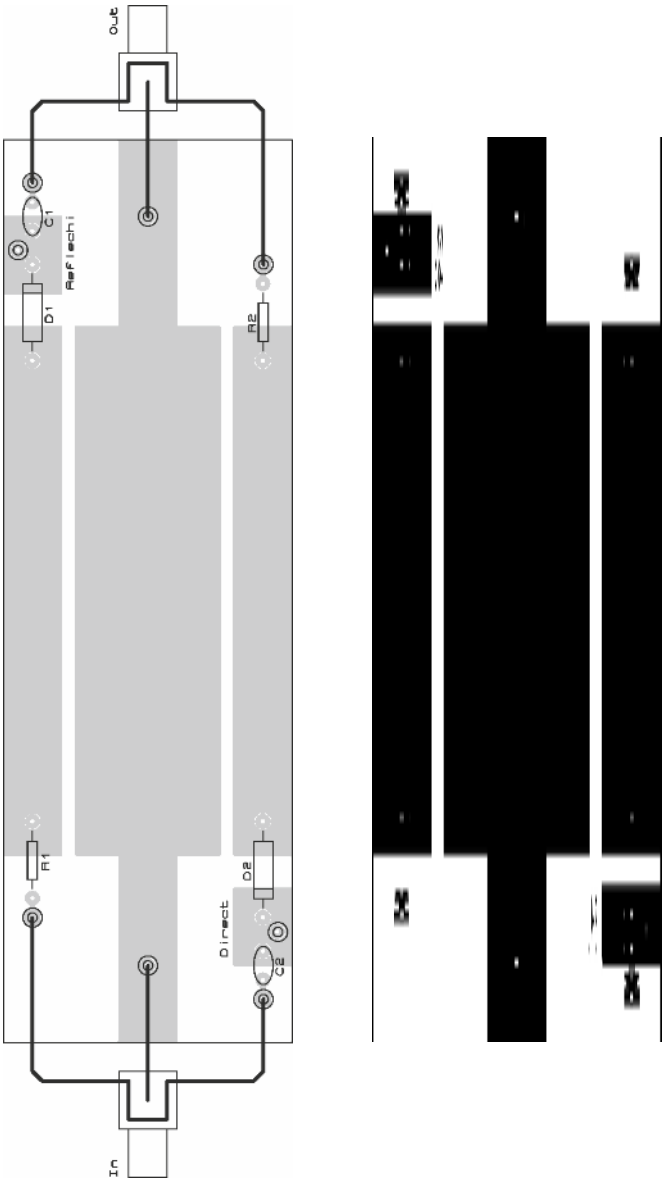


Figure 6.27

6.9 Mise en coffret et interconnexion des modules

Tentatoo – Pour commencer, nous allons discuter un peu du câblage général, et ensuite nous verrons comment raccorder tous les modules entre eux.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Câblage des alimentations

Sepatoo – J'ai choisi un coffret métallique pour installer tous les circuits imprimés. J'ai bien fait, n'est-ce pas ?

Tentatoo – À n'en pas douter, vous avez retenu la leçon. Je tiens cependant à préciser que votre coffret métallique devra impérativement être relié à la masse.

Sepatoo – Je comptais bien procéder ainsi. J'ai entendu dire que l'endroit de raccordement de la masse pouvait être critique, et que s'il était mal fait, cela pouvait entraîner des ronflements importants. S'agit-il de rumeurs, ou confirmez-vous cela ?

Tentatoo – Il ne s'agit point de rumeurs. L'endroit où vous allez relier la masse est en effet important, et il doit surtout être unique. Relier le boîtier (masse mécanique) à la masse électrique simultanément en plusieurs endroits peut engendrer des boucles de masse, et occasionner la circulation de courants qui feront naître des tensions parasites, tensions parasites qui pourront se « répercuter » dans le signal audio si tout ne va pas dans le bon sens (vous connaissez la loi de Murphy, je pense). Il est parfois difficile de dire à quel endroit précisément il faut relier la masse, car selon le montage et la disposition des divers circuits, le point de masse idéal n'est pas forcément le même. Ce qui signifie qu'il faut parfois tâtonner avant de trouver le bon emplacement, ce qui relève de l'expérimentation.

Sepatoo – Mais il doit tout de même bien y avoir une ou plusieurs règles générales, non ?

Tentatoo – Oui, une première règle consiste à câbler la masse de tous les circuits en un point unique, par exemple sur la sortie de l'alimentation secteur, comme le montre le synoptique donné à la **figure 6.28**.

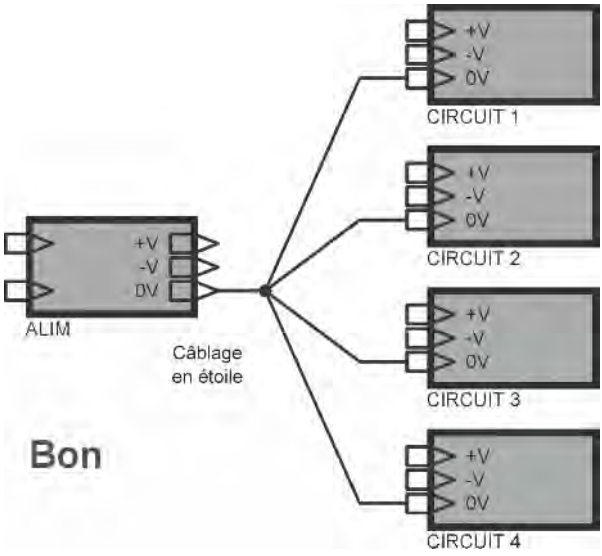


Figure 6.28

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Je ne vois pas trop comment passer par un autre type de câblage…

Tentatoo – Pourtant, il existe une multitude de « routages » possibles des fils qui amènent les alimentations continues aux différents circuits. Un câblage tel que celui présenté en **figure 6.29** est un exemple type de câblage qu'il faut totalement proscrire. Ce dernier occasionne en effet des variations de potentiel plus importantes entre les différentes masses, qui devraient en théorie être toutes au même niveau de tension, à savoir 0 V.

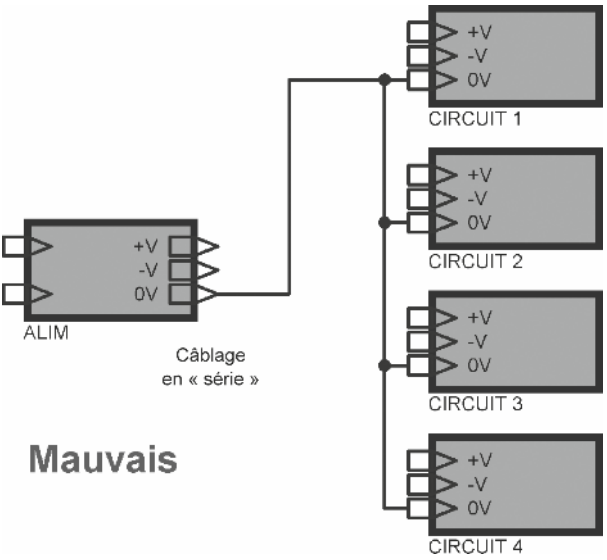


Figure 6.29

Sepatoo – Il me semble pourtant que le risque d'avoir des problèmes est faible, si on choisit un câble de grosse section.

Tentatoo – Un câble de forte section améliorerait un peu les choses, mais cette façon de câbler « en série » ne convient vraiment pas et il vaut mieux l'oublier tout de suite. Préférez donc le premier type de câblage, en étoile.

Sepatoo – D'accord, je n'insiste pas. Vous avez parlé du câblage des masses, mais je suppose qu'il faut faire de même avec les lignes d'alimentation positive et négative.

Tentatoo – Tout à fait, cette façon de câbler est là aussi préférable pour l'ensemble des lignes d'alimentation.

Sepatoo – Et pour le raccordement de la masse électrique au boîtier métallique ?

Tentatoo – La prise de terre de l'embase secteur femelle et le point unique de raccordement de masse des circuits doivent être reliés en un point du châssis, qui devra être localisé une fois tous les modules interconnectés. La **figure 6.30** met en pratique cette idée.

Sepatoo – À vous entendre, je sens que je vais passer des heures et des heures à trouver le bon emplacement.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

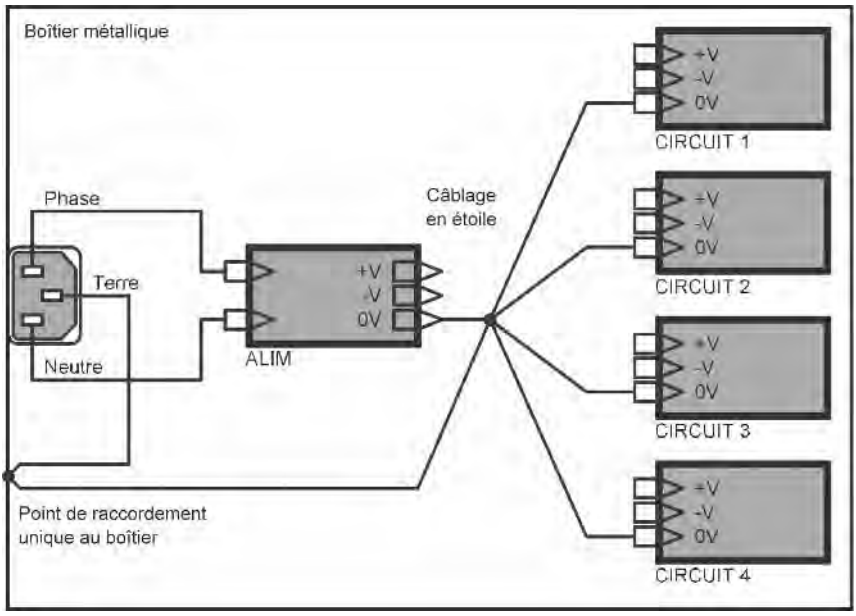


Figure 6.30

Tentatoo – Non, cela me surprendrait un peu tout de même. Si votre câblage est soigné, vous devriez même trouver plusieurs endroits qui conviennent.

Sepatoo – Bien, nous verrons cela le moment venu. Et pour le câblage des modules, je peux les câbler sur les bornes de sortie d'alimentation que je veux ?

Tentatoo – Du moment que vous faites bien attention au type de borne de sortie, oui. Une fois tous les câbles posés, vous les fixerez sans doute ensemble pour faire plus propre, aussi vaut-il mieux bien repérer l'ensemble pour pouvoir dépanner plus facilement le cas échéant. Pour cela, j'ai constitué un petit « guide » de câblage que vous pouvez adopter si vous le souhaitez (**figure 6.31**). Un conseil : commencez par câbler les bornes situées le plus au bord du circuit imprimé, car si vous commencez par souder des fils sur les bornes J4 et J6 (les plus proches du condensateur C2), vous aurez un peu de mal à accéder ensuite aux autres bornes.

Câblage des signaux BF et des signaux d'horloge

Tentatoo – Il est temps maintenant de passer au câblage des signaux analogiques et logiques. Nous allons voir comment faire selon que les modules optionnels, tels que désymétriseur d'entrée et limiteur de modulation, sont ou ne sont pas utilisés. Le mieux je pense est de commencer au plus simple, et de voir ensuite comment ajouter les modules optionnels. Voici donc en **figure 6.32**, le synoptique général du câblage à réaliser pour la version d'émetteur la plus simple.

Sepatoo – Le montage ainsi proposé est donc totalement fonctionnel ?

Tentatoo – Si par « totalement fonctionnel » vous entendez « capable d'émettre un signal audio en stéréo », la réponse est oui. Dans ce cas, vous

http://fribok.blogspot.com/

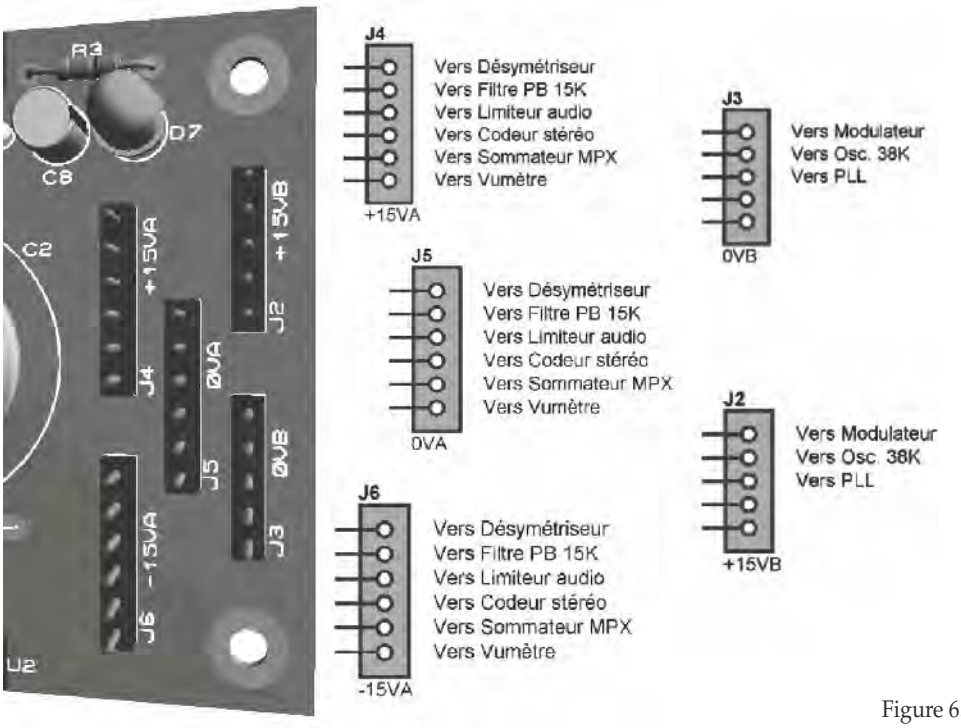


Figure 6.31

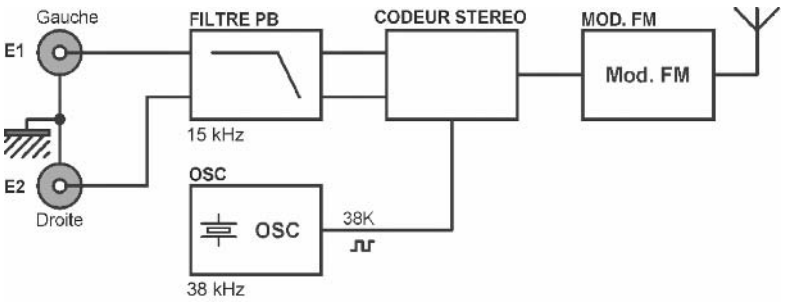


Figure 6.32

ne bénéficiez pas d'entrées symétriques, et l'amplitude de modulation en fréquence (l'excursion en fréquence) n'est pas limitée en cas de fort niveau sonore en entrée. Vous devez donc être beaucoup plus attentif sur le niveau de la source sonore.

Sepatoo – Ce câblage me convient très bien pour commencer, et de toute façon j'aurai la possibilité d'ajouter les options par la suite. Auriez-vous la gentillesse de me montrer un dessin de câblage détaillé ? J'ai peur que le synoptique de la **figure 6.32** ne me suffise pas pour m'y retrouver.

Tentatoo – Je suis sûr que vous y arriverez si vous faites un petit effort.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

7 LES RÉGLAGES DE L'ÉMETTEUR, CÔTÉ BF

Sepatoo – Quand vous parlez de réglages sur la partie BF, je suppose que vous faites allusion au réglage de volume, ou plus précisément de la sensibilité des deux entrées audio de l'émetteur.

Tentatoo – Le réglage de la sensibilité des entrées audio fait partie des réglages à accomplir pour obtenir de bonnes performances de notre système. Nous avons choisi d'implémenter des entrées symétriques, et ce choix impose un réglage qu'il n'est point besoin d'effectuer avec des entrées grand public de type asymétrique. Vous souvenez-vous de ce dont nous avons parlé au sujet des liaisons symétriques ?

Sepatoo – De la phase des signaux véhiculés ?

Tentatoo – Oui, mais encore ?

Sepatoo – De l'amplitude des deux signaux en opposition de phase. Les amplitudes doivent être identiques si l'on veut supprimer efficacement les parasites.

7.1 Entrées symétriques et CMRR

Tentatoo – Exactement ! Et comme nous l'avons déjà dit, récupérer deux signaux en opposition de phase et rigoureusement identiques au moment de leur sommation n'est pas si évident en pratique, car durant le trajet, divers éléments mécaniques ou électroniques vont contribuer à atténuer ou amplifier plus un signal que l'autre. Il est donc utile, au dernier moment, de compenser tout écart potentiel de niveau entre les deux signaux de la liaison audio. Bien entendu, comme nous travaillons en stéréo, nous aurons deux réglages à effectuer, un pour la voie gauche et l'autre pour la voie droite.

Sepatoo – Nous aurions pu utiliser un potentiomètre stéréo pour limiter le nombre d'organes de réglage.

Tentatoo – Non, et ceci pour deux raisons. La première est que le déséquilibre n'est pas forcément identique pour les deux voies gauche et droite. Et même s'il l'était, l'appariement des potentiomètres pourrait ne pas être parfait et imposer un réglage différent pour les deux voies. *Secundo*, ce type de réglage s'opère de façon unique au moment de la mise au point initiale, et n'a normalement pas besoin d'être retouché par la suite. On se contente donc de potentiomètres ajustables, qu'il s'avère plutôt difficile de trouver en version stéréo.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Nous voilà donc quittes pour effectuer deux réglages, que j'imagine longs et fastidieux.

Tentatoo – Vous imaginez toujours avec autant de plaisir que les choses sont très compliquées. Eh bien, désolé de vous décevoir encore une fois, mais ce réglage est très simple.

Sepatoo – Je demande à voir !

Tentatoo – Non seulement vous allez voir, mais vous allez faire !

Sepatoo – J'aurais dû m'en douter. Moi qui n'ai jamais touché à un analyseur de phase, me voilà servi.

Tentatoo – Mais qui vous a parlé d'analyseur de phase ? Pour ce réglage, un simple oscilloscope suffit.

Sepatoo – Le réglage du CMRR ne nécessite qu'un oscilloscope ?

Tentatoo – Oui. Et encore, on pourrait s'en passer.

Sepatoo – Eh bien, si nous pouvons nous en passer, j'en serai ravi. Ça fera moins de boutons à toucher.

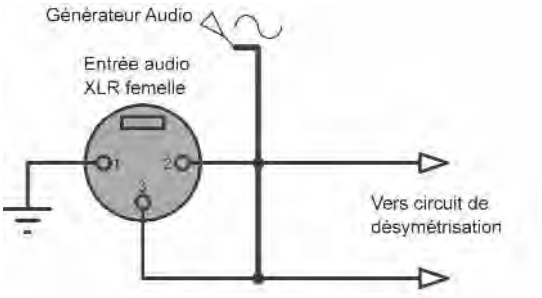
Tentatoo – Je croyais pourtant que vous aimiez toucher les boutons. Allons, prenez votre courage à deux mains et allons-y.

Sepatoo – Mais j'y pense, si nous devons utiliser un oscilloscope, c'est que nous avons besoin de visualiser quelque chose. Et je donnerais ma main à couper qu'il nous faut aussi un générateur audio pour produire les signaux à voir sur l'oscilloscope.

Tentatoo – Bien vu. En réalité, un signal sonore quelconque peut faire l'affaire, mais il faut avouer que l'usage d'un signal audio fixe simplifie beaucoup les choses. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous utiliserons un générateur BF et un oscilloscope.

Sepatoo – Je vous laisse m'expliquer la marche à suivre.

Tentatoo – Elle est très simple. Pour commencer, vous devez déconnecter toute source audio qui pourrait être branchée à l'entrée XLR du désymétriseur, court-circuiter les deux fils d'entrée signal, à savoir les pattes 2 et 3 de la XLR, puis appliquer un signal sonore simultanément sur ces deux fils, comme le montre la **figure 7.1**.



Réglage CMRR :
1 - Déconnecter toute source audio de la XLR d'entrée audio.
2 - Brancher ensemble les pattes 2 et 3 de la XLR.
3 - Appliquer un signal test mono sur les pattes 2 et 3 de la XLR.

Figure 7.1

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Mais pourquoi ne pas se brancher directement sur la prise XLR femelle avec un cordon équipé d'une prise XLR mâle ?

Tentatoo – Tout simplement parce que l'équipement ainsi raccordé (broches 2 et 3 interconnectées), s'il dispose d'une sortie symétrique, risque de ne pas apprécier que l'on court-circuite entre elles ses deux sorties connectées en broches 2 et 3. Une fois raccordé le générateur BF comme indiqué ci-avant, le configurer pour qu'il délivre un signal de fréquence fixe, disons de fréquence 1 kHz et d'amplitude comprise entre 1 V et 5 V. Brancher l'oscilloscope en sortie du désymétriseur, et ajuster le calibre de déviation verticale de telle sorte que le signal visualisé tienne sur toute la hauteur de l'écran, sans en sortir. Puis ajuster le potentiomètre RV2 CMRR afin de réduire au maximum le niveau du signal observé. Le réglage est correct dès que l'on a atteint le minimum possible.

Sepatoo – Ça alors ! Si le but du réglage est de ne plus avoir de signal en sortie de cet étage d'entrée, je ne comprends plus rien !

Tentatoo – Rappelez-vous que ce que nous visualisons en ce moment est un gros parasite dont on veut se débarrasser. Il affecte en même temps les deux fils de l'entrée audio, avec la même phase, puisque les deux fils en question sont reliés ensemble. Quand nous reviendrons à la configuration normale de fonctionnement, c'est-à-dire avec les deux fils d'entrée séparés, tout rentrera dans l'ordre et le signal audio utile sera bien présent en sortie du désymétriseur.

Sepatoo – Voilà qui est rassurant. Je règle le potentiomètre pour avoir un niveau minimum en sortie, comme vous me l'avez demandé. Tiens, le niveau du signal remonte quand je continue de tourner le potentiomètre après être passé par le minimum.

Tentatoo – Cela est tout à fait normal, il n'existe qu'une toute petite position du curseur du potentiomètre pour laquelle le signal est affaibli au maximum. Je vous conseille d'augmenter la sensibilité verticale de l'oscilloscope, afin de mieux voir le signal à son minimum.

Sepatoo – J'ai poussé l'amplitude d'entrée de l'oscilloscope, et vois maintenant le signal fortement atténué qui baigne dans le bruit de fond. Effectivement, il ne reste plus grand-chose de notre signal.

Tentatoo – De notre parasite, pour être plus précis.

Sepatoo – Tout de même, ce signal de test sinusoïdal ressemble plus à un signal utile qu'à un parasite.

Tentatoo – Sauf si le signal parasite en question n'est pas un CLAC dû à l'action d'un interrupteur d'alimentation, mais une ronflette 50 Hz permanente captée par un fil mal blindé.

Sepatoo – Ah bah oui, là, évidement.

Tentatoo – Bien, je vous laisse maintenant faire le même réglage pour l'autre voie, après quoi nous procéderons au réglage de notre limiteur de modulation.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

7.2 Réglage du limiteur de modulation

Sepatoo – Je trouve curieux de trouver autant de réglages sur un simple limiteur de modulation.

Tentatoo – Tiens, vous le trouvez simple, maintenant ?

Sepatoo – C'est une expression, vous savez. Comme un dicton.

Tentatoo – Ah, bien. Pas tant de réglages, en fait : un réglage de niveau d'entrée, pour s'adapter à votre source sonore, et un réglage du niveau de sortie, parce que c'est pratique.

Sepatoo – N'aurait-on pas pu se passer du réglage du niveau d'entrée, vu qu'il existe déjà un réglage de gain sur l'étage désymétriseur ?

Tentatoo – Très bonne remarque. Si ce réglage est redondant, c'est parce que vous pouvez très bien ne pas avoir besoin de désymétriseur et utiliser une source audio dont les sorties sont asymétriques, comme le sont par exemple les sorties des consoles de mixage d'entrée de gamme. Dans ce cas, le réglage d'entrée du limiteur n'est pas de trop. Sans compter le fait que ce limiteur pourrait être placé ailleurs que dans notre émetteur FM. Dans le même esprit, si vous ne souhaitez pas utiliser de limiteur de modulation, le réglage de gain du désymétriseur devra être utilisé.

Sepatoo – Je comprends mieux. Et si l'on décide d'utiliser les deux modules, désymétriseur et limiteur, quel réglage de gain doit-on plutôt utiliser ?

Tentatoo – Tout va dépendre de l'amplitude de votre source sonore. En fait, tout cela n'est pas très critique, du moment que le niveau du signal audio reste à une valeur « normale » sur tout son trajet. Si votre source a un niveau faible, je vous conseille de le relever avec le désymétriseur, car il est bon que le limiteur reçoive un signal dont l'amplitude est d'au moins 1 V. Mais les deux réglages de gain disponibles (celui du désymétriseur et celui du limiteur) offrent une plage de réglages assez large et vous ne devriez normalement avoir aucun problème d'ajustement de niveau. Pour fixer un ordre de grandeur, faites en sorte que l'on trouve un signal d'environ 1 V en sortie du désymétriseur.

Sepatoo – Vous parliez de seuil d'action du limiteur, or là je ne vois que des réglages de gain, et aucun de réglage de seuil.

Tentatoo – Vous avez raison, il n'y a pas de réglage de seuil.

Sepatoo – Je trouve ceci bien embêtant, pour un limiteur qui doit entrer en action à partir d'un certain niveau.

Tentatoo – Tout n'est toujours question que de référence. Ici, nous allons ajuster le gain d'entrée du limiteur de telle sorte que le signal audio atteigne tout juste la valeur de limitation. Si vous poussez le gain dans une grande proportion, le signal audio atteindra très souvent cette valeur limite et le signal sera fortement compressé. Si au contraire vous laissez un peu de marge, le signal audio ne sera limité que sur les fortes crêtes de modulation.

Sepatoo – Il ne doit pas être facile de procéder à ce type de réglage.

Tentatoo – Il vous suffit de visualiser le signal audio entrant sur une voie de l'oscilloscope, et de visualiser le signal audio sortant du limiteur sur l'autre voie de l'oscilloscope.

Sepatoo – Et si…

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Et si vous n'avez pas d'oscilloscope deux voies ? Il faut dans ce cas visualiser alternativement le signal audio en entrée et en sortie du limiteur. Ou alors vous fier à vos oreilles et aux vumètres. Vous constaterez très vite qu'au bout d'un moment, le niveau en sortie du limiteur ne dépasse plus une certaine valeur, même en « forçant » sur les entrées BF.

Sepatoo – Ce qui, professionnellement parlant, est très poétique.

Tentatoo – Si vous voulez. Puis une fois atteinte la limite maximale d'amplitude du signal en sortie du limiteur, vous devez la régler à 1,5 V crête à crête, à l'aide des potentiomètres de réglage de gain de sortie, RV2 et RV4.

Sepatoo – Et c'est tout ?

Tentatoo – C'est tout pour le limiteur. Maintenant que le niveau du signal audio est maîtrisé, nous pouvons passer à la suite.

7.3 Réglage des composantes du signal multiplex (MPX)

Sepatoo – Je pense ne pas avoir grand-chose à apprendre de cette partie du cours, puisque nous avons défini que le MPX devait avoir une amplitude électrique telle que l'excursion de fréquence ne dépasse pas 75 kHz. Nous devons donc régler le niveau du MPX et tout le monde sera content.

Tentatoo – Ce que vous dites est juste, mais il me semble que vous oubliez quelque peu la nature du signal MPX en raisonnant ainsi. Nous parlons en ce moment des composantes du MPX et non du MPX dans son intégralité. S'il est établi que le MPX dans sa globalité doit provoquer une déviation de fréquence de 75 kHz, nous devons aussi définir dans quelle proportion chaque partie de ce signal MPX doit intervenir dans cette déviation.

Sepatoo – Je ne pense pas trop me tromper si je dis que le signal audio utile doit l'emporter sur les autres signaux.

Tentatoo – Vous ne vous trompez pas du tout. Les signaux qui accompagnent le signal audio utile ont bien sûr leur importance, mais nous n'aurons pas besoin de leur accorder une place (amplitude électrique) aussi grande. Avez-vous une idée de l'ordre de grandeur de la place prise par chaque composante ?

Sepatoo – À vue de nez, je dirais 80 % pour le signal audio utile et 20 % pour le signal fixe constituant la porteuse 19 kHz.

Tentatoo – Vous n'êtes pas très loin de la vérité, mais pour être juste, il faudrait spécifier pour quel mode de diffusion ces chiffres sont donnés.

Sepatoo – Je ne comprends pas bien ce que vous entendez par mode de diffusion. Nous allons bien diffuser en stéréo, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Dans le cas de notre étude, oui. Mais imaginez que du jour au lendemain, pour une raison ou pour une autre, vous décidiez de diffuser en mono. À ce moment-là, les rapports cités ci-avant ne sont plus valables. En mode mono en effet, la porteuse 19 kHz n'a pas lieu d'être, et si vous laissez les réglages en l'état, vous perdrez 20 % des capacités de déviation autorisées.

Sepatoo – En mode mono, je devrai donc monter le volume du signal audio utile, si j'ai bien compris.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Tout à fait. Mais il serait plus juste de dire qu'une atténuation moindre du signal audio utile est nécessaire. Et avez-vous songé à la place occupée par un éventuel signal RDS ?

Sepatoo – Ah, j'avoue avoir oublié l'existence possible de ce signal. Il faut dire que je n'ai pas prévu de diffuser quelque signal RDS que ce soit, et que cela risque de durer quelque temps ainsi, vu le prix des codeurs stéréo.

Tentatoo – On peut trouver des codeurs stéréo à très bas coût, sans boîtier ni alimentation, qui ne disposent pas des fonctionnalités avancées telles que celles présentes sur les codeurs de grande marque, mais qui sont programmables avec un simple PC, et permettent d'identifier votre radio sur tout poste possédant la fonction RDS. Mais je ne veux pas vous inciter à la dépense, je me souviens bien qu'en terme de diffusion vous n'avez point l'intention de dépasser les limites de votre chambre à coucher.

Sepatoo – Effectivement, l'usage d'un codeur stéréo qui me permettrait d'afficher le nom de ma radio sur le seul récepteur de mes parents, serait bien un luxe dont je peux me passer pour le moment. Ceci dit, je suis curieux de savoir en quoi la présence d'un codeur RDS peut jouer sur le réglage du MPX.

Tentatoo – Ce n'est pas compliqué. Il suffit de considérer le signal RDS comme un signal BF tel que votre signal audio utile. Si on ajoute un tel signal au signal audio existant, il va s'y additionner et provoquer une déviation de fréquence plus importante. Si l'on ne veut pas dépasser la valeur de 75 kHz, il faut donc diminuer le signal BF utile.

Sepatoo – Mais, cela ne signifie-t-il pas que le son va être moins fort chez l'auditeur ?

Tentatoo – Tout à fait ! Si vous accordez plus de place aux signaux annexes, cela se fait forcément au détriment du signal audio utile. Tout est question de compromis : il faut trouver un arrangement pour que le signal RDS ait un niveau suffisant pour permettre sa réception et son décodage avec le minimum d'erreurs, et en même temps il ne faut pas qu'il soit trop fort pour laisser le maximum de place possible au signal audio auquel l'auditeur s'intéresse finalement le plus.

Sepatoo – Pour résumer, nous pouvons dire qu'un programme audio diffusé en mono sans signal RDS aura plus de force en réception qu'un programme audio diffusé en stéréo avec un signal RDS.

Tentatoo – Exactement ! Et si à cela nous ajoutons, sans entrer dans les détails, qu'une diffusion en mode mono procure une qualité auditive supérieure dans les zones où la réception est à la limite des possibilités du récepteur, vous comprendrez que certaines radios persistent à conserver le mode de diffusion mono.

Sepatoo – Existe-t-il un tableau récapitulatif et normalisé des valeurs d'amplitude que l'on doit accorder aux différentes composantes du MPX, selon le mode de diffusion utilisé ?

Tentatoo – Oui, et je vous propose de jeter un œil dès maintenant au **tableau 7.1**. Dans ce tableau, et pour tous les modes de diffusion, l'addition des excursions provoquées par chacune des composantes du MPX doit donner un résultat dont la valeur ne doit pas excéder 75 kHz.

http://fribok.blogspot.com/

Tableau 7.1

	Audio	Pilote 19 kHz	RDS	DARC
Mono sans RDS	75 kHz 100 %	–	–	–
Mono avec RDS	71,0 kHz 94,67 %	–	4,0 kHz 5,33 %	–
Mono avec RDS et DARC	67,5 kHz 90 %	–	4,0 kHz 5,33 %	3,5 kHz 4,67 %
Stéréo sans RDS	67,5 kHz 90 % (1)	7,5 kHz 10 %	–	–
Stéréo avec RDS	63,9 kHz 85,17 % (1)	7,1 kHz 9,5 %	4,0 kHz 5,33 %	–
Stéréo avec RDS et DARC	60,75 kHz 81 % (1)	7,1 kHz 9 %	4,0 kHz 5,33 %	3,5 kHz 4,67 %

(1) Cette valeur correspond à l'amplitude maximale que l'on a pour le signal M (A+B) quand A et B sont identiques en amplitude, en fréquence et en phase. Elle correspond également à la somme des amplitudes des deux bandes latérales de la sous-porteuse 38 kHz quand A et B sont identiques en amplitude et en fréquence, mais sont en opposition de phase.

Sepatoo – Je note que dans le mode de diffusion stéréo avec RDS, le signal audio utile perd 15 % d'amplitude par rapport à ce qui est transmis en mode de diffusion mono sans RDS.

Tentatoo – Oui, cela confirme ce que nous avions déjà dit : le programme audio « sonnera » moins fort dans un même récepteur FM quand la diffusion est de type stéréophonique, que quand elle est de type monophonique. Et encore, je ne parle que de l'effet constaté avec un récepteur stéréophonique.

Sepatoo – Pourquoi cette précision ? Un récepteur monophonique ne va pas donner la même chose ?

Tentatoo – Eh bien non, surtout si le programme audio est fortement spatialisé, c'est-à-dire comportant de grandes différences de phase entre les voies gauche et droite. Dans ce cas en effet, l'amplitude du signal S (qui représente la différence A–B) est plus importante, alors qu'à l'inverse l'amplitude du signal M (somme A+B) décroît. Le récepteur mono, qui ne voit que la partie M, reçoit donc un signal de moindre amplitude. Il est défavorisé par rapport à un récepteur stéréo.

Sepatoo – La compatibilité stéréo/mono s'arrête donc là…

Tentatoo – N'exagérons rien tout de même. Dans la majorité des cas, l'amplitude de la composante M est plus importante que celle de la composante S. Mais il est bon de ne pas oublier ce détail, surtout si l'on veut augmenter artificiellement l'espace stéréophonique.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Réglage de l'amplitude du signal audio principal

Tentatoo – Eh bien, je crois que le plus gros a été dit. Pouvez-vous me dire comment vous comptez vous y prendre pour régler l'amplitude de notre signal audio utile ?

Sepatoo – Rien de plus simple : j'applique un signal test à l'entrée de l'émetteur, et je règle son amplitude pour que l'excursion de fréquence en sortie du modulateur FM soit maximale, c'est-à-dire de 75 kHz.

Tentatoo – Bien. Mais avec ou sans le pilote 19 kHz ?

Sepatoo – Avec le pilote 19 kHz, bien sûr. Puisque le mode de diffusion choisi est le mode stéréo.

Tentatoo – C'est parfait. Mais je préférais que vous l'indiquiez clairement, afin qu'aucun doute ne subsiste. De même pour le RDS, n'est-ce pas ?

Sepatoo – Oui, bien entendu. Comme je n'ai pas encore de codeur RDS, j'effectue le réglage de façon à ce que le signal audio occupe à lui seul 90 % de l'amplitude du signal complet multiplex, et que le pilote 19 kHz n'occupe quant à lui que 10 % de l'amplitude du signal multiplex.

Tentatoo – Je vois que vous avez bien tout compris. Une chose me ferait cependant plaisir. C'est que vous me donniez quelques chiffres, afin que je puisse suivre plus aisément vos étapes de réglage.

Sepatoo – Des chiffres comment ?

Tentatoo – Indiquer un pourcentage ou une valeur d'excursion est très bien. Mais je ne dispose pas d'excursiomètre, je n'ai qu'un simple oscilloscope. Alors j'aimerais bien que vous m'indiquiez précisément comment vous allez utiliser cet appareil de mesure, le seul que vous ayez à disposition qui puisse convenir ici. Et pendant que vous y êtes, pourquoi ne pas spécifier la fréquence du signal audio issu du générateur BF.

Sepatoo – Rien de plus simple ! J'utilise un signal audio de 1 000 Hz à 0 dBu, je coupe le pilote 19 kHz, et je règle le niveau d'entrée du signal audio de telle sorte que l'oscilloscope affiche un signal MPX qui atteint 90 % de la hauteur totale de l'écran. Puis, sans toucher le calibre de l'amplitude verticale de l'oscilloscope, je coupe le signal audio, je rétablis le pilote 19 kHz et je le règle pour que le signal MPX affiché tienne 10 % de la hauteur totale de l'écran.

Tentatoo – C'est une méthode, mais elle ne me plaît pas. Car la précision de réglage de l'amplitude du pilote 19 kHz n'est pas assez grande. Je sais bien que notre émetteur n'est pas un émetteur haut de gamme, mais il serait bien que vous preniez l'habitude de manipuler l'oscilloscope comme il se doit, c'est-à-dire en choisissant un calibre d'affichage adéquat, qui correspond à l'amplitude du signal à afficher. Cela dit en passant, un signal audio de fréquence 400 Hz pourrait aussi être utilisé, pour que l'influence de la préaccentuation ne se fasse pas trop sentir sur les résultats finaux.

Sepatoo – J'ai bien noté pour l'histoire de la fréquence du signal BF, je vous remercie de m'avoir rappelé la présence de la préaccentuation. J'ai bien compris que le signal 1 kHz serait un peu accentué, mais je prends sur moi l'erreur de mesure que cela introduira car je la sais faible.

Tentatoo – C'est comme vous voulez, je vous fais confiance.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Et pour les niveaux, je vais être obligé de travailler avec des valeurs de tension, alors ?

Tentatoo – C'est exactement ce que j'aimerais, oui. Et pour vous simplifier la vie, j'ai décidé de définir l'amplitude du signal MPX à 2 Vcac (crête à crête) pour une excursion de 75 kHz. 2 Vcac pour 100 % d'excursion : cela vous convient-il ?

Sepatoo – Grande est votre bonté, je saurai m'en souvenir. Je peux donc vous donner une réponse définitive : l'amplitude de mon signal audio seul doit être de 1,8 Vcac, comme on peut le voir à la **figure 7.2**.

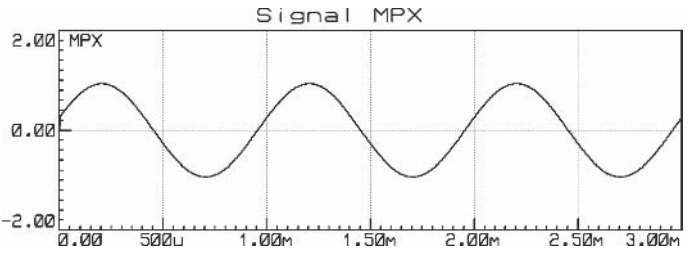


Figure 7.2. **Signal audio 1 kHz seul, sur les deux entrées gauche et droite.**

Tentatoo – Très bien. Cette courbe correspond à l'application d'un signal BF identique sur les deux entrées gauche et droite. Pouvez-vous maintenant appliquer le même signal sur la voie gauche, et un signal identique mais opposé en phase, sur la voie droite ?

Sepatoo – Je veux bien, mais comment faire ? Votre générateur BF dispose d'une seule sortie symétrique !

Tentatoo – Vous n'avez qu'à inverser provisoirement les deux fils câblés sur les broches 2 et 3 de la prise XLR de l'entrée droite de l'émetteur.

Sepatoo – J'ignorais que ce type de manœuvre était autorisé. Si ça fume, ce ne sera pas de ma faute.

Tentatoo – Vous n'avez rien à craindre, je vous le garantis.

Sepatoo – Très bien, je m'exécute. Voici le résultat en **figure 7.3**. Pourriez-vous m'expliquer pourquoi on a cette jolie forme ?

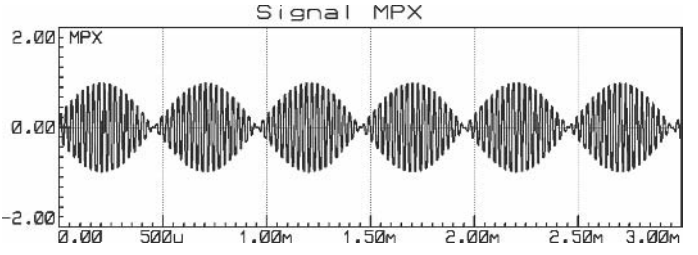


Figure 7.3

Tentatoo – Je pensais que vous seriez en mesure de me l'expliquer. À quoi ce type de courbe vous fait penser ?

Sepatoo – Parce que cette courbe devrait me faire penser à quelque chose de particulier ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Oui, à quelque chose dont nous avons parlé il n'y a pas si longtemps.

Sepatoo – Laissez-moi réfléchir… À de la modulation d'amplitude ?

Tentatoo – Voilà qui me rassure. Pendant un court instant, j'ai cru que vous aviez tout oublié de nos précédentes conversations. De la modulation d'amplitude donc. Mais encore ? Quelle fréquence porteuse, et quel signal modulant ?

Sepatoo – Je suis tenté de dire que la porteuse est celle de 38 kHz, et que le signal modulant est le signal S, représentatif de la différence A–B. Comme A et B sont en opposition de phase, leur différence arithmétique s'ajoute. Et en même temps, le signal M de A+B n'existe plus puisque l'addition conduit à un résultat nul.

Tentatoo – 20/20. Je n'ai rien à ajouter. Maintenant, et avant de toucher à votre matériel, pourriez-vous me dire à quoi ressemblerait la courbe si nous appliquions un signal BF sur une seule voie d'entrée, la gauche ou la droite, peu importe ?

Sepatoo – C'est une question difficile, mais la note que vous venez de m'attribuer m'incite à faire un petit effort supplémentaire. Côté somme A+B, nous allons avoir un signal, mais plus faible que si les deux voies gauche et droite recevaient la même chose. Côté différence, je pense qu'il s'agit de la même chose. Mais pour la forme de l'onde sur l'oscillo, je donne ma langue au chat.

Tentatoo – Eh bien, vous auriez ce qui est visible en **figure 7.4**.

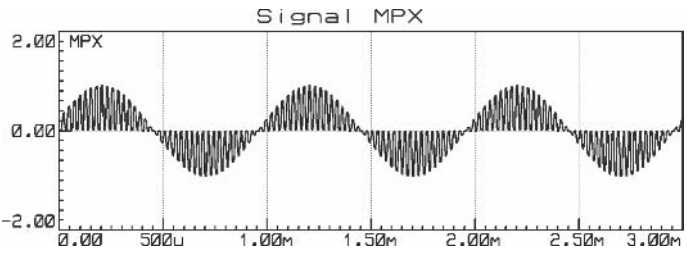


Figure 7.4

Sepatoo – J'aurais dû me douter que l'on aurait un signal d'une telle forme. Moitié, moitié…

Réglage de l'amplitude du signal 19 kHz

Tentatoo – Et pour l'amplitude du signal pilote 19 kHz, que suggérez-vous ?

Sepatoo – L'amplitude de la porteuse 19 kHz doit être de 0,2 Vcac, comme le montre la **figure 7.5**.

Tentatoo – Merci. Je note que vous avez oublié mon conseil concernant l'échelle d'affichage. Mais ce n'est pas grave, nous pouvons ainsi voir visuellement le rapport de force entre les deux parties. Et que donne la présence simultanée des deux signaux 1 kHz et 19 kHz ?

http://fribok.blogspot.com/

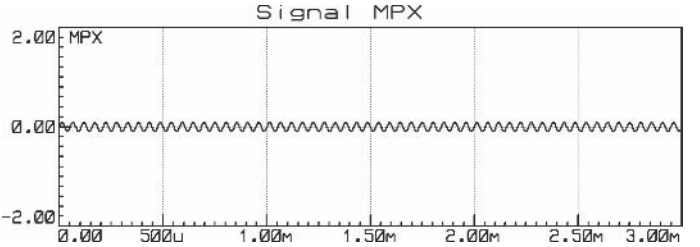


Figure 7.5

Sepatoo – Il nous suffit de les activer tous les deux pour le savoir. Voyons voir… en **figure 7.6**.

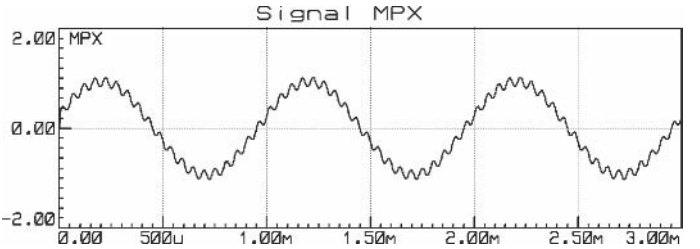


Figure 7.6

Tentatoo – Cela me semble correct. Pensez-vous qu'il est possible d'observer d'autres formes de courbes pour le signal MPX ?

Sepatoo – Les mêmes que tout à l'heure, mais avec la présence du pilote 19 kHz, peut-être ?

Tentatoo – Tout à fait ! Il me tarde de voir ces courbes.

Sepatoo – Les voici donc. En **figure 7.7**, deux signaux en opposition de phase sur les entrées audio, et le pilote 19 kHz.

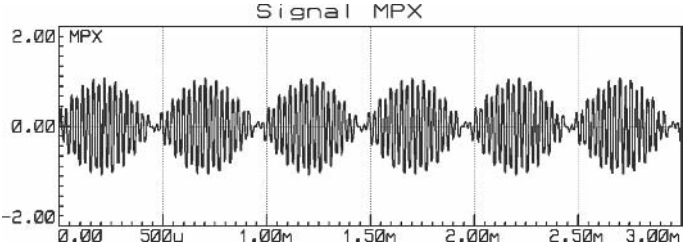


Figure 7.7

Sepatoo – Et, en **figure 7.8**, une des deux entrées BF ne reçoit rien, et l'on a toujours le pilote 19 kHz. Je constate que l'on a la même chose que sans le pilote 19 kHz.

Tentatoo – En êtes-vous bien certain ?

Sepatoo – Eh bien, il me semble en tout cas que les formes sont très semblables. Quoi qu'en y regardant de près, il y a une différence, les dernières courbes ont l'air moins « nettes ».

Tentatoo – À quoi attribuez-vous cette netteté moindre ?

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

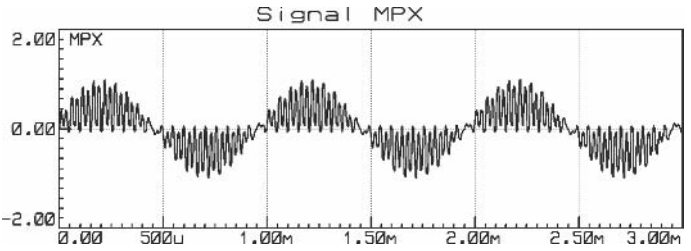


Figure 7.8

Sepatoo – Sur les deux dernières courbes, les contours semblent « ondulés ».

Tentatoo – Un peu comme ce que l'on observait en **figure 7.6** ?

Sepatoo – Exactement ! Mais alors, là aussi le signal est perturbé par la porteuse 19 kHz ?

Tentatoo – Perturbé n'est pas vraiment le terme qui convient. Disons simplement que la porteuse 38 kHz, non contente de suivre les évolutions de l'amplitude du signal modulant S (A–B), va aussi suivre les évolutions de l'amplitude du pilote 19 kHz. Après tout, ce n'est là que du mélange de deux signaux différents. Bien, nous allons maintenant pouvoir passer au réglage de la phase entre le signal pilote 19 kHz et la porteuse 38 kHz.

Réglage de la phase 19 kHz/38 kHz

Sepatoo – Mais comment voulez-vous effectuer une comparaison entre le pilote 19 kHz, et la porteuse 38 kHz qui a été supprimée ?

Tentatoo – Peut-être en utilisant le 38 kHz là où il existe encore, ou en utilisant une fréquence très proche du 38 kHz qui existe ?

Sepatoo – Ah, je n'y avais pas pensé. Mais dites-moi, ce réglage est-il indispensable ?

Tentatoo – Vous pouvez me poser cette question pour l'ensemble des réglages que nous devons réaliser, si vous le souhaitez. À votre avis ?

Sepatoo – Je pense que l'on peut s'en passer, au risque peut-être d'obtenir au final une qualité moindre. Pourquoi ne pas écouter ce que tout cela donne sans effectuer aucun réglage, et n'y toucher que si l'on repère des défauts audibles ?

Tentatoo – Voilà une méthode qui n'est pas digne d'un amateur sérieux… Vous partez du principe que si vous n'entendez pas un défaut, personne d'autre ne l'entendra. Un peu comme si vous écoutiez une chaîne hi-fi dans un magasin, et qu'étonné par sa qualité, vous pensiez aussitôt qu'il n'existe rien de meilleur. Il me semble tout de même plus intéressant de faire en sorte que l'équipement soit au mieux de sa forme dès sa naissance, et de ne pas attendre que quelqu'un se plaigne d'une mauvaise qualité.

Sepatoo – Mais qui pourrait donc se plaindre, je ne diffuserai que dans l'enceinte de ma maison !

Tentatoo – Ce n'est pas une raison. Adoptez les bons réflexes dès le début. Vous gagnerez peut-être même en temps de travail global.

Sepatoo – Très bien, vous avez raison. Alors, en quoi consiste ce réglage de phase entre 19 kHz et 38 kHz ?

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Souvenez-vous que le pilote 19 kHz est ce qu'on pourrait appeler un « reflet » de la porteuse 38 kHz, et qu'il va servir à reconstituer la porteuse 38 kHz dans le récepteur FM, afin de permettre le décodage des voies audio gauche et droite du programme stéréo. S'il n'existe pas une bonne relation de phase entre ces deux signaux 19 kHz et 38 kHz, les voies gauche et droite ne seront pas correctement restituées, tout simplement.

Sepatoo – Je retiendrai ce point. Et comment mesurer des écarts de phase entre ces deux signaux ? Avec un analyseur de phase ?

Tentatoo – Nous pouvons fort heureusement nous contenter d'un simple oscilloscope. Le réglage se fait en observant une figure particulière à l'oscilloscope, jusqu'à ce qu'elle soit correcte.

Sepatoo – J'imagine que pour ne pas être perturbé par les signaux audio, il vaut mieux observer la fameuse figure sans signal BF à l'entrée de l'émetteur. C'est-à-dire uniquement avec les signaux 19 kHz et 38 kHz présents.

Tentatoo – Nous n'allons pas procéder ainsi, et au contraire, nous allons faire en sorte que la porteuse 38 kHz soit présente. Pour être plus précis, nous allons moduler notre porteuse 38 kHz avec un signal basse fréquence, de l'ordre de 100 à 150 Hz, possédant une faible amplitude. Si la porteuse 19 kHz est en phase avec le signal 38 kHz, nous allons voir quelque chose qui ressemble à la **figure 7.9**.

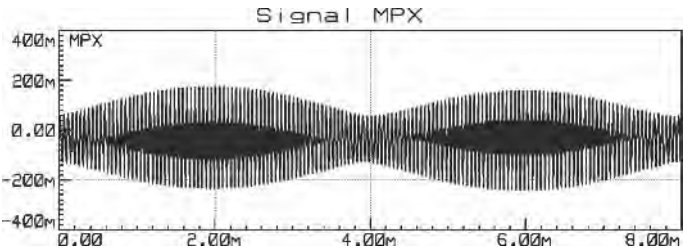


Figure 7.9

Tentatoo – La partie centrale, qui apparaît en plus sombre et avec une amplitude moindre, est représentative du signal 38 kHz modulé par notre signal basse fréquence. Le reste est lié au pilote 19 kHz. Si la porteuse 19 kHz n'est pas en phase avec le signal 38 kHz, nous allons voir quelque chose qui ressemble à la **figure 7.10**, où l'on constate que les parties sombres ne sont plus alignées.

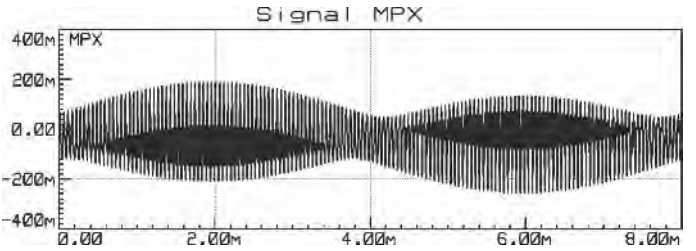


Figure 7.10

Sepatoo – Ces formes sont tout de même étranges. On dirait des masques.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – C'est parce qu'on ne voit pas bien le détail. Si on dilate l'échelle du temps, voici ce que l'on obtient pour des signaux 19 kHz et 38 kHz en phase, **figure 7.11**. Comme vous pouvez le constater, ce n'est ni plus ni moins qu'un simple mélange des deux signaux.

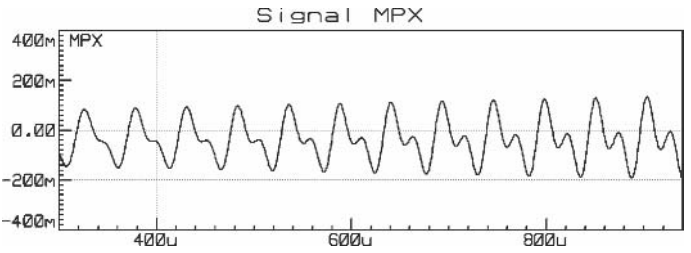


Figure 7.11

Tentatoo – Et, en **figure 7.12**, voici ce que l'on obtient pour des signaux 19 kHz et 38 kHz qui ne sont pas en phase.

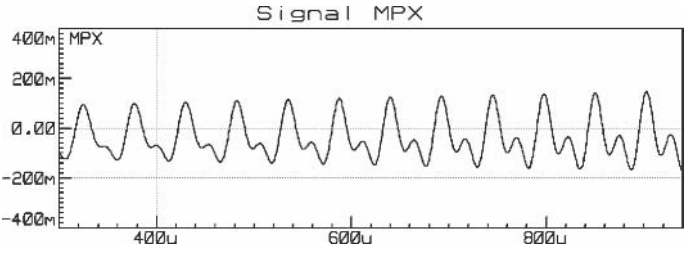


Figure 7.12

Sepatoo – Je vois bien qu'il existe une différence entre ces deux dernières figures, car sur la seconde, on voit que le signal 38 kHz est « plus bas ». Mais de là à dire que c'est flagrant…

Tentatoo – C'est pourquoi je n'ai pas choisi cette base de temps. Le décalage est bien plus visible quand les alternances des sinusoïdes sont plus resserrées.

Sepatoo – Et avec un signal BF modulant de 1 kHz, on ne peut rien voir ?

Tentatoo – Si, on peut voir quelque chose, comme le montrent les **figures 7.13** (signaux en phase) et **7.14** (signaux hors phase). Mais en pratique, on constate vite que le réglage de mise en phase est moins évident qu'avec un signal modulant de plus basse fréquence.

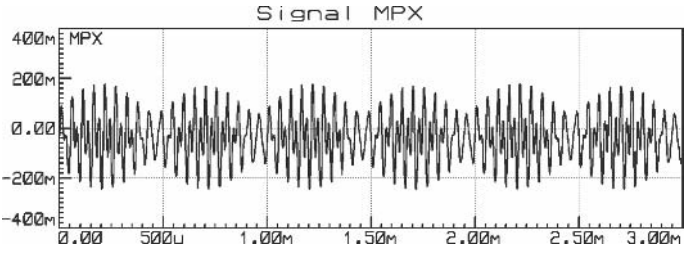


Figure 7.13

http://fribok.blogspot.com/

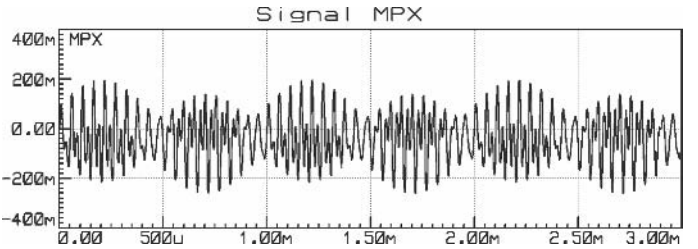


Figure 7.14

Sepatoo – L'oscilloscope a du mal à afficher une image stable.

Tentatoo – Cela est normal, car il voit deux signaux de fréquences très différentes et d'amplitudes similaires, il ne sait pas trop sur lequel des deux se synchroniser. Mais cela n'est pas très grave, car on arrive tout de même à voir ce que l'on veut voir. Quand on a accès au signal d'horloge 19 kHz ou 38 kHz de l'émetteur, on peut s'en servir pour stabiliser l'affichage, en l'injectant dans l'entrée de déclenchement externe de l'oscilloscope, si ce dernier possède une telle entrée, cela va de soi. Dans le cas présent, n'hésitez pas à modifier un peu la base de temps ou le seuil de déclenchement (*trigger*) de l'oscilloscope, certains réglages permettent une synchronisation plus efficace.

Sepatoo – Ah oui, vous avez raison, en touchant un tout petit peu les réglages indiqués, la courbe à l'écran est plus stable. En avons-nous fini avec le réglage de phase 19 kHz/38 kHz ?

Tentatoo – Oui, si vous obtenez à l'écran une forme qui ressemble à la **figure 7.9** vue précédemment.

Sepatoo – Ce n'est pas tout à fait le cas.

Tentatoo – Dans ce cas, il vous faut ajuster le potentiomètre RV4 du codeur stéréo jusqu'à obtenir le résultat escompté.

Sepatoo – Ah, voilà, c'est mieux ainsi. Mais dites-moi, il n'est pas évident de régler finement cette phase. Procédez-vous toujours de la sorte ?

Tentatoo – En réalité, je procède de deux façons, et je compare les deux. La première est celle que je viens de vous décrire. La seconde est plus subjective, je fais le réglage à l'oreille.

Sepatoo – À l'oreille ?

Tentatoo – Oui, je diffuse une chanson dont le relief stéréo est bien net, et j'écoute le signal diffusé au casque, avec un récepteur stéréo. Quand le réglage de phase est bon, le relief stéréo est maximal à la réception. Quand il n'est pas bon, cela joue sur la diaphonie, les signaux des voies gauche et droite se mélangent plus et l'effet stéréo diminue. En réglant le potentiomètre de phase, vous pouvez ainsi passer progressivement de stéréo à mono ; il suffit donc d'ajuster le potentiomètre de réglage de phase jusqu'à ce que le signal audio reçu présente le maximum de séparation entre les deux voies gauche et droite.

Sepatoo – Je suis heureux d'apprendre que l'on peut se passer d'un appareil de mesure pour effectuer ce réglage. Il s'agit d'une drôle de méthode, qui ressemble tout de même un peu à celle que je voulais appliquer au début.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – À la différence près que vous vouliez ajuster la phase uniquement si quelque chose clochait, et qu'une diminution de l'effet stéréophonique aurait pu passer inaperçue.

Sepatoo – J'aurais sans doute été immédiatement frappé si un tel phénomène de diminution de l'effet stéréo s'était présenté.

Tentatoo – Peut-être que oui, peut-être que non. Et si nous passions maintenant au réglage du niveau de RDS ?

Réglage de l'amplitude du signal RDS

Sepatoo – Je n'ai pas de codeur RDS, devons-nous aborder ce point ?

Tentatoo – Il peut être intéressant d'en discuter un peu, en prévision du jour où votre station sera complète.

Sepatoo – Je ne crois pas qu'il y ait grande difficulté à régler l'amplitude du RDS, puisque vous m'avez dit que l'on pouvait le considérer comme un simple signal BF, observable et réglable avec un simple oscilloscope.

Tentatoo – Je maintiens ce point de vue. Le signal RDS est un signal numérique un peu complexe, mais sa forme assez « persistante » permet son observation sur un écran d'oscilloscope de façon assez précise et suffisante. Pouvez-vous me rappeler l'amplitude que devrait avoir notre signal RDS si nous en avions un à ajouter à notre multiplex ?

Sepatoo – Vous m'indiquiez précédemment une occupation de 5,33 % dans le signal MPX complet dont vous avez fixé l'amplitude à 2 Vcac, que la diffusion soit en mono ou en stéréo. Je réponds donc que l'on doit régler le niveau de RDS à 106 mVcac environ.

Tentatoo – Réponse juste. Nous pouvons passer au réglage du DARC.

Réglage de l'amplitude du signal DARC

Sepatoo – Pour sûr, je ne risque pas d'avoir un codeur de ce type un jour dans ma chambre.

Tentatoo – Vous avez l'air bien sûr de vous. Ne vous êtes-vous jamais dit que vous ne seriez jamais en mesure de fabriquer un émetteur FM, avant d'en construire un ? Cela ne m'étonnerait pas trop qu'un jour ou l'autre vous vous lanciez dans la programmation de composants programmables, PIC ou autres du genre. Et que vous soyez vous-même en mesure d'en fabriquer un de toutes pièces, je vous en pense capable.

Sepatoo – Quel optimisme ! Cependant, je dois bien avouer que ces composants m'attirent de plus en plus.

Tentatoo – Nous en reparlerons dans quelques années. En attendant, *quid* du niveau du DARC ?

Sepatoo – Si je m'appuie sur les valeurs de votre tableau, je dois régler le niveau du DARC à une valeur voisine de 93 mVcac, soit un peu moins que le niveau requis pour le RDS.

Tentatoo – Cela est juste. Je dois préciser que la valeur exacte du niveau de DARC et du niveau de RDS n'est pas très critique, mais qu'elle doit répondre à deux impératifs. Le premier impératif est que le niveau de ces deux compo-

http://fribok.blogspot.com/

santes doit être assez élevé pour que le récepteur FM arrive à les décoder correctement. Le deuxième impératif est de ne pas leur donner une amplitude trop grande, pour ne pas consommer trop de place que l'on serait obligé de ponctionner au signal audio utile.

Sepatoo – Les valeurs que vous précisez là sont donc celles que tout le monde adopte ?

Tentatoo – Quasiment tout le monde, oui. Soulignons toutefois que certaines radios ont décidé d'inverser les valeurs d'amplitude du DARC et du RDS à des fins de test, considérant que le DARC, situé plus haut en fréquence et travaillant avec un débit de données plus grand que le RDS, avait besoin d'être plus « sécurisé ». Et qu'à ce titre donc, l'amplitude du RDS pouvait être plus faible que celle du DARC.

Sepatoo – Je suis bien content de n'avoir ni codeur RDS, ni codeur DARC. Parce que perdre 20 % de la modulation audio utile pour le simple plaisir de transporter des données numériques associées ne me plaît guère.

Tentatoo – N'oubliez pas que les données associées permettent des tas de choses intéressantes pour l'utilisateur final. Le simple fait de voir s'afficher sur mon récepteur FM le nom de la station que l'on écoute, me semble être plus un confort que du luxe.

Sepatoo – Je suis d'accord avec vous. Mais tout de même, autant de signal perdu pour un simple nom de radio…

Tentatoo – Il vous incombe de choisir vous-même les services que vous voulez rendre aux auditeurs. Et vous avez la chance d'avoir le choix.

7.4 Réglage du signal multiplex (MPX) complet

Tentatoo – Nous voici arrivés au bout de la chaîne du MPX, où tous nos signaux sont ajoutés les uns aux autres.

Sepatoo – Ce réglage ne devrait pas poser de problème particulier, puisqu'il suffit de positionner le potentiomètre de niveau MPX de telle sorte que l'excursion totale ne dépasse pas 75 kHz.

Tentatoo – Vous avez raison, en regardant les choses de cette manière, l'opération paraît simple. Cependant, pouvez-vous me dire comment vous allez savoir à quel moment l'excursion sera de 75 kHz ?

Sepatoo – Eh bien, quand… quand l'indicateur le dira.

Tentatoo – L'indicateur ?

Sepatoo – Oui, l'indicateur d'excursion.

Tentatoo – Vous parlez certainement de l'excursiomètre, ou analyseur de modulation.

Sepatoo – C'est ça !

Tentatoo – Je n'en possède point.

Sepatoo – Voilà qui est embêtant. Nous voilà donc dans l'obligation de régler le niveau à l'oreille, de telle sorte que notre signal audio soit reçu sur notre récepteur FM avec autant de force qu'avec les autres radios.

Tentatoo – C'est bien la dernière méthode à employer quand vous pouvez faire autrement. Si vous procédez ainsi, je peux vous garantir que votre

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

excursion sera probablement le double de celle des autres radios, pour une même puissance auditive apparente. Rappelez-vous que l'impression de puissance sonore n'est pas seulement liée au niveau électrique maximal du signal audio, mais surtout à son « remplissage » dans le spectre des fréquences et dans le temps. Regardez les **figures 7.15** et **7.16**, où l'on voit une représentation temporelle de deux chansons totalement différentes – la chanson 1 correspond à *La chanson de Prévert* chantée par Serge Gainsbourg, et la chanson 2 est un morceau de techno « pris au hasard ». Sachant que les échelles verticales sont identiques, pouvez-vous me dire quelle chanson a le niveau sonore le plus élevé, et celle qui sonnera le plus fort dans le récepteur, en utilisant le même émetteur FM pour permettre la comparaison bien sûr ?

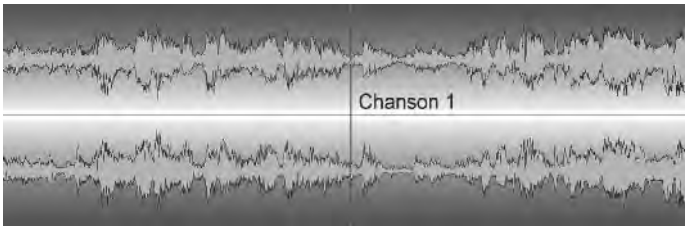


Figure 7.15

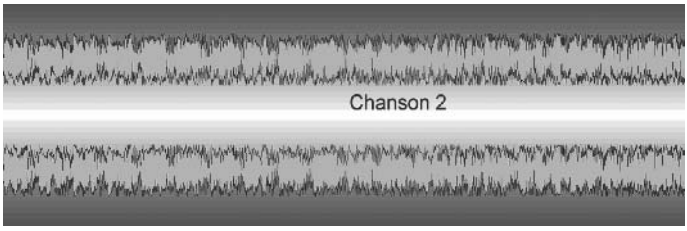


Figure 7.16

Sepatoo – La chanson 1 est plus dynamique, il y a des passages plus faibles mais aussi des passages bien plus forts. Il me semble que c'est celle-là qui sonnera le plus fort. À moins qu'il n'y ait encore un piège dans votre question…

Tentatoo – Pas de piège, je voulais juste avoir votre avis. En réalité, la chanson 1 présente un maximum de niveau de 0 dB (je vous cite cette valeur pour avoir une référence, elle est arbitraire). Et la chanson 2 ne dépasse jamais la valeur de –6 dB, ce qui signifie que d'un point de vue purement électrique, cette deuxième possède une amplitude maximale deux fois moindre. En d'autres termes, si on règle l'émetteur FM avec la chanson 2 pour avoir une excursion de 75 kHz (ce qui est assez simple vu le côté relativement constant de l'amplitude), et que l'on passe ensuite la chanson 1, celle-ci provoquera une excursion de 150 kHz ! D'un point de vue auditif, la chanson 1 ne sonnera pas plus fort. Vous voyez, la mesure électrique seule n'est pas suffisante.

Sepatoo – Mais si nous utilisons notre limiteur, il en sera autrement, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Bien sûr, l'exemple que je citais à l'instant ne tenait pas compte d'une éventuelle compression de dynamique, et n'était valable que pour un

http://fribok.blogspot.com/

signal audio appliqué directement à l'entrée du modulateur FM. Dit en passant, la chanson 2 est visiblement déjà passée dans un compresseur de dynamique, assez dynamique c'est le cas de le dire, lors de son passage en studio, avant gravure du CD.

Sepatoo – Si je comprends bien, l'application d'une compression de dynamique sur toutes les chansons avant gravure sur CD simplifierait les réglages de tous les émetteurs FM.

Tentatoo – Certes ! Mais je vous rappelle qu'une compression abusive (comme c'est le cas pour la chanson 2) est très fatigante pour l'oreille, et qu'elle détruit dans de grandes proportions le relief sonore. Une grosse compression passe bien pour de la voix humaine, voire pour certains instruments de musique, mais pas pour un mixage final. Pour être plus complet, je dirais que même avec des amplitudes parfaitement formatées sur tous les CD (ce qui est déjà plus ou moins le cas puisque dans tous les cas on ne peut pas dépasser la limite du 0 dBFS), vous auriez encore des risques de dépassements de l'excursion pour d'autres raisons, telles que création de petites « surtensions » (*overshoot*) lors du passage du signal audio dans certains traitements, notamment dans des filtres et principalement à cause de condensateurs de liaison. Sans compter le simple passage en analogique en sortie CD, qui rend les manœuvres plutôt libres par la suite. Beaucoup d'animateurs radio, malheureusement, pensent que mettre les aiguilles continuellement dans le rouge contribue à un signal plus fort en réception. Croyez-moi, le meilleur emplacement du limiteur reste juste avant l'émetteur.

Sepatoo – Si j'ai bien tout compris, il nous reste une seule façon de procéder : utiliser un morceau de musique fortement compressé, comme votre chanson 2, et s'en servir pour s'aligner sur les autres radios.

Tentatoo – C'est à la rigueur la méthode que je pourrais conseiller faute de pouvoir faire autrement. Mais nous avons la chance de posséder un instrument de mesure qui va nous être très utile : l'analyseur de spectre.

Sepatoo – On peut faire une mesure d'excursion avec un analyseur de spectre ? Ah oui, évidemment, il suffit de mesurer les écarts de fréquence par rapport à la fréquence centrale d'émission !

Tentatoo – Comme vous y allez ! L'analyseur de spectre ne peut pas afficher en temps réel une valeur d'excursion avec un signal audio qui fluctue sans arrêt. Il existe cependant une méthode qui permet de régler la valeur de l'excursion de façon très précise, avec un signal test fixe. Cette méthode s'appuie sur le principe d'annulation de porteuse.

Sepatoo – Encore une porteuse annulée ! Si ça continue comme ça, on ne recevra bientôt plus rien du tout sur le récepteur.

Tentatoo – Nous en sommes à une étape de réglage, et l'annulation de porteuse dont je vous parle n'est pas continue mais ponctuelle, si je peux m'exprimer ainsi. Pour être plus précis, nous allons créer une condition dans laquelle on peut observer une annulation d'une porteuse parmi d'autres…

Sepatoo – Une porteuse parmi d'autres ? Excusez-moi de vous interrompre, mais je croyais que l'on avait une seule porteuse, dont la fréquence variait en fonction de l'amplitude du signal modulant.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – J'ai tenu jusqu'à maintenant à ne pas vous encombrer l'esprit avec des formules mathématiques, indices de modulation et autres fonctions de Bessel. Mais sachez qu'un signal modulé en fréquence est composé de plusieurs raies, et que le contenu spectral devient de plus en plus riche au fur et à mesure que croît l'indice de modulation. Cet indice de modulation est défini par le rapport entre la fréquence du signal modulant (Fm) et l'excursion de fréquence (df) qu'il provoque :

Indice de modulation (m)
= Excursion crête (df)/Fréquence signal modulant (Fm)

Il est donc aussi forcément lié à l'amplitude du signal modulant. Prenons l'exemple d'un signal modulant ayant une fréquence (Fm) de 1 kHz, et dont l'amplitude est telle qu'il provoque une excursion (df) de 5 kHz ; dans ce cas, l'indice de modulation (m) est de 5 (5 kHz divisé par 1 kHz). Si maintenant le signal modulant a une fréquence (Fm) de 19 kHz et que son amplitude est telle qu'il provoque une excursion crête (df) de 7,5 kHz, l'indice de modulation (m) est cette fois de 0,4 (7,5 kHz divisé par 19 kHz). Je pourrais vous parler de façon plus précise de tout cela un peu plus tard, mais pour le moment, contentons-nous d'accepter le fait que le spectre est composé de plusieurs raies quand on module une porteuse par un signal fixe, même si ce dernier est de forme sinusoïdale.

Sepatoo – Bien, si vous pensez que l'absence d'explications supplémentaires m'empêchera de flotter dans un trou noir, continuons.

Tentatoo – Je ne sais pas où vous allez chercher toutes ces expressions, mais je dois reconnaître que certaines me plaisent bien. Non, vous allez voir que l'on peut comprendre un minimum de choses, même sans formule. Observez les vues spectrales de la **figure 7.17** et donnez-moi vos impressions à chaud.

Sepatoo – Sur la première vue, celle où aucun signal modulant ne vient perturber la tranquillité de la porteuse à 100 MHz, nous n'avons qu'une seule raie, ce qui me semble plutôt normal et bon signe. Pour les deux suivantes, cela rejoint ce que vous disiez auparavant, à savoir l'apparition de plusieurs raies, dont le nombre croît en proportion avec l'indice de modulation. Une chose m'intrigue : je pensais que la raie centrale aurait toujours une amplitude supérieure à l'amplitude des autres raies, quel que soit l'indice de modulation. Je vois qu'il n'en est rien.

Tentatoo – Effectivement, il n'en est rien. En fonction de l'indice de modulation, et donc en fonction de la fréquence et de l'amplitude du signal modulant, telle ou telle raie (J0, J1, J2 et les autres) va avoir un niveau bien spécifique. Et c'est là que les choses deviennent intéressantes. On montre avec des formules mathématiques, et notamment grâce aux courbes de Bessel, que telle ou telle raie présente une amplitude minimale pour un indice de modulation donné. Vous pouvez par exemple voir, sur la **figure 7.18**, les valeurs d'indice de modulation (m) pour lesquelles les porteuses J0 à J6 s'annulent.

Sepatoo – Vous m'excuserez, mais je ne comprends rien à ce fouillis de courbes.

http://fribok.blogspot.com/

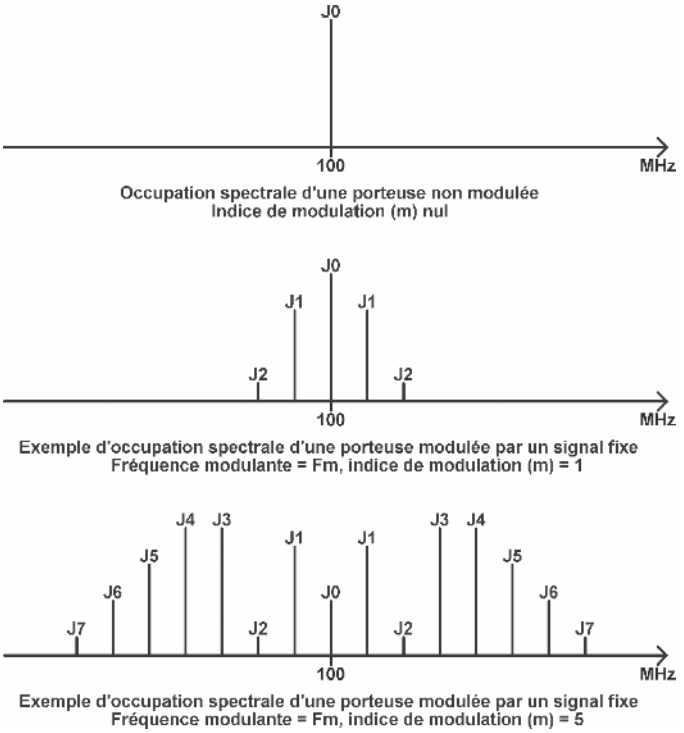


Figure 7.17

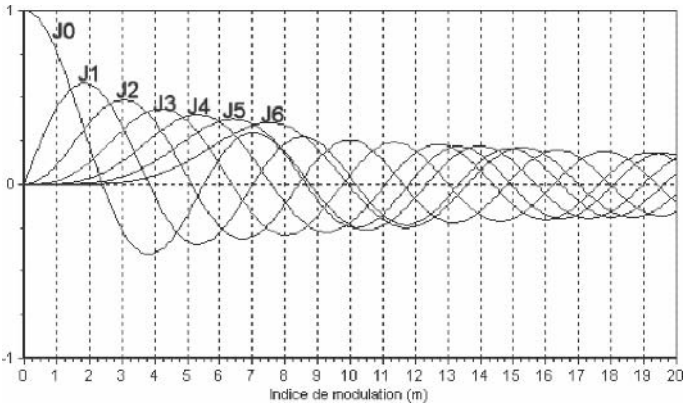


Figure 7.18

Tentatoo – Je vous comprends tout à fait. Chacune des six courbes représente le niveau relatif qu'elle peut avoir, par rapport à la valeur maximale de la porteuse J0 en absence de signal modulant. Montrer toutes ces courbes sur un même graphique n'est pas l'idéal pour s'y retrouver, j'en conviens. C'est pourquoi j'ai isolé l'une de ces courbes, qui se trouve être celle correspondant à la raie J0. Notez que j'aurais pu prendre n'importe quelle autre courbe, ce choix est tout à fait arbitraire. La **figure 7.19** montre ainsi pour quelles valeurs d'indice de modulation, on a annulation de la porteuse J0.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

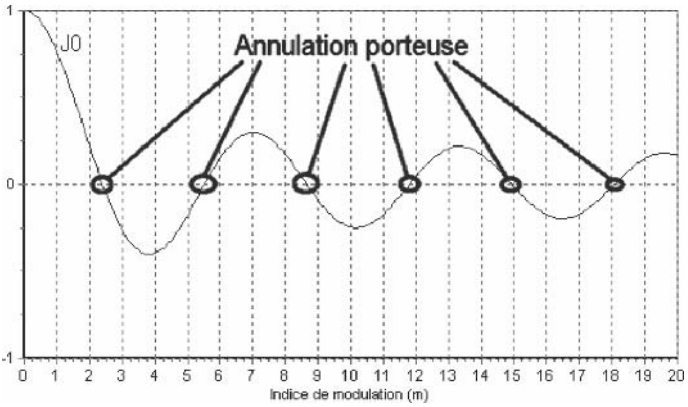


Figure 7.19

Sepatoo – J'y vois déjà bien plus clair. Ainsi, nous avons plusieurs valeurs possibles d'indice de modulation (m) pour lesquelles la raie J0 s'annule. La première annulation a lieu si l'indice de modulation vaut 2,4 environ, la seconde annulation a lieu si l'indice de modulation est de 5,5 environ, la troisième annulation a lieu si l'indice de modulation est de 8,5 environ, etc.

Tentatoo – C'est exactement ça. Il ne vous reste donc plus qu'à définir la valeur de l'excursion en fréquence que vous souhaitez obtenir, et vous en déduirez la fréquence que doit avoir le signal BF modulant pour provoquer l'annulation de porteuse.

Sepatoo – Pouvez-vous me donner un exemple ?

Tentatoo – Non, c'est vous qui allez me le donner. Tenez, je vous mâche le travail : on souhaite obtenir une excursion de fréquence de 75 kHz, puisqu'il s'agit de la valeur maximale que l'on doit respecter et ne pas dépasser. Puisque l'on a vu l'allure de la courbe faisant référence à la raie J0, nous allons l'utiliser. Donnez-moi donc la valeur de la fréquence du signal modulant qui permet d'avoir annulation de la porteuse J0.

Sepatoo – Comment ça, la fréquence ? Nous venons de voir qu'il en existait plusieurs.

Tentatoo – Eh bien donnez-moi en une parmi celles possibles.

Sepatoo – D'après votre **figure 7.19**, la première fois que la courbe J0 passe par 0 (annulation de porteuse donc), cela correspond à un indice de modulation (m) de 2,4. Si notre excursion (df) est de 75 kHz, cela nous conduit à une fréquence du signal modulant (Fm) de 75 kHz/2,4 = 31,25 kHz. Mais il ne s'agit pas d'un signal BF audible !

Tentatoo – Cela n'a aucune importance puisque l'on se connecte directement à l'entrée du modulateur FM. Point de filtre passe-bas 15 kHz à ce niveau, n'est-ce pas ?

Sepatoo – Je suis bien d'accord, mais comment faire si un jour je dois vérifier et régler l'excursion, une fois que l'émetteur sera monté et enfermé dans sa boîte ? Devrai-je tout démonter ?

Tentatoo – Je suis très heureux que vous ayez soulevé ce problème, car effectivement, l'emploi d'un signal BF de 31 kHz ne conviendra plus une

http://fribok.blogspot.com/

fois tout en place. À moins bien sûr que vous ne prévoyez une prise supplémentaire pour la sortie du codeur stéréo, et une prise supplémentaire pour l'entrée du modulateur, et qu'en opération normale, vous reliez les deux avec un petit cordon. Voyons voir si l'on peut utiliser une autre fréquence, plus basse, qui permet d'obtenir la même chose, sans interrompre la liaison entre sortie du codeur stéréo et entrée du modulateur FM.

Sepatoo – Eh bien, pour un indice de modulation (m) de 5,5, qui correspond à la deuxième valeur provoquant une annulation de la porteuse J0, notre signal BF modulant devrait être de 75 kHz/5,5 = 13,6 kHz pour (Fm).

Tentatoo – Bon calcul. Pouvez-vous me donner d'autres valeurs qui conviennent également ?

Sepatoo – La troisième annulation de porteuse survient pour un indice de modulation (m) de 8,65, ce qui nous donne (Fm) = 75 kHz/8,65 = 8,67 kHz. En raisonnant toujours de la même façon, nous devons avoir (Fm) = 6,36 kHz pour la quatrième annulation de porteuse (indice de modulation 11,8), et (Fm) = 5,02 kHz pour la cinquième annulation de porteuse (indice de modulation 14,9).

Tentatoo – Eh bien voilà, encore une fois vous vous en sortez avec des opérations mathématiques simples. Je résume vos calculs dans le **tableau 7.2**. Merci de me corriger le cas échéant.

Excursion de fréquence (df)	Fréquence du signal modulant (Fm)	Indice de modulation (m) = (df)/(Fm)	Numéro d'annulation (ordre d'annulation)
75 kHz	31,2 kHz	2,40	1
75 kHz	13,6 kHz	5,52	2
75 kHz	8,67 kHz	8,68	3
75 kHz	6,36 kHz	11,80	4
75 kHz	5,02 kHz	14,90	5
75 kHz	4,15 kHz	18,70	6

Tableau 7.2. Valeurs possibles pour annulation de la raie (porteuse) J0.

Sepatoo – Ce tableau semble exempt d'erreur. En le regardant, je m'aperçois qu'une ligne est plus facile à retenir que les autres, il s'agit de celle qui correspond à la cinquième annulation de porteuse. Si je puis me permettre d'arrondir la fréquence du signal modulant de 5,02 kHz en 5,00 kHz, et d'arrondir l'indice de modulation de 14,9 en 15, j'aurai encore plus de chance de garder cette valeur en mémoire : ordre d'annulation 5, indice modulation 15, fréquence du signal modulant 5 kHz, excursion 75 kHz. Il y a des 5 partout : 5, puis 5 × 15 = 75… Puis-je arrondir ?

Tentatoo – Non, vous ne pouvez pas. En passant de 5 020 Hz à 5 000 Hz pour le signal modulant, vous allez vous retrouver avec un écart très grand sur le niveau de la porteuse de J0, rapport d'amplitude de 10 au minimum.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Autant dire alors que faire la mesure ou le réglage dans de telles conditions est parfaitement inutile. Je souligne donc que cette méthode est très précise, mais qu'elle impose l'utilisation d'un générateur BF parfaitement stable et de préférence synthétisé (pas un oscillateur libre à base de NE555), que de plus la fréquence d'émission ne doit pas non plus être de type libre, et qu'elle doit impérativement être verrouillée avec une PLL.

Sepatoo – Je sens que cette méthode n'est pas vraiment faite pour nous, pauvres amateurs sans le sou.

Tentatoo – Il est certain que tout le monde n'a pas un analyseur de spectre et un générateur de fonction de haute qualité chez lui. Mais tout comme pour le modulateur FM à quartz, je pense qu'il est bon que vous sachiez que cette méthode existe.

http://fribok.blogspot.com/

8 LES RÉGLAGES DE L'ÉMETTEUR, CÔTÉ RF

Tentatoo – Nous allons maintenant aborder les réglages du modulateur FM. Le nombre de réglages est limité, si on le compare au nombre de réglages que nous avons dû effectuer pour la partie basse fréquence.
Sepatoo – Moins de réglages, mais plus compliqués, je me trompe ?

8.1 Réglage du modulateur FM

Tentatoo – Vous vous trompez. La première chose à régler sur notre modulateur est la fréquence d'émission. Pour cela, il existe deux méthodes de réglage, selon que vous utilisez le modulateur en mode libre ou en mode asservi (avec circuit à verrouillage de phase – PLL).
Sepatoo – Est-il possible de régler le modulateur d'abord en mode libre, juste pour voir s'il fonctionne bien ?
Tentatoo – Cela est même conseillé. Si quelque chose ne tournait pas rond avec le circuit d'asservissement, il serait moins facile de déterminer le fautif entre modulateur et PLL. Alors que si le modulateur travaille sans asservissement, on a très vite fait de se rendre compte s'il fonctionne bien.

Réglage du modulateur FM en mode libre

Sepatoo – Vous dites que cela va plus vite de vérifier le bon fonctionnement du circuit en mode libre. Mais en même temps, je ne peux m'empêcher de repenser au petit émetteur que j'avais construit, qui travaillait lui aussi en mode libre, et dont la fréquence d'émission se trouvait hors plage de mon récepteur FM lors de la première mise sous tension. N'a-t-on pas plus de chance d'émettre tout de suite à la fréquence désirée avec le circuit d'asservissement en place ?
Tentatoo – Quand je dis que cela est plus rapide, il est vrai que je ne pense pas forcément à l'amateur qui n'a pas d'analyseur de spectre, instrument idéal pour voir si une oscillation est bien présente. Mais vous savez, vouloir s'attaquer aux hautes fréquences sans analyseur de spectre, c'est un peu comme s'attaquer à l'observation ou à la mesure de signaux BF, sans oscilloscope ou appareil de mesure adapté. En même temps, je me souviens de ce que vous avez dit au sujet du bon fonctionnement de votre petit émetteur FM : vous avez dit avoir perçu un pshhh rapide dans votre récepteur FM, au moment de la mise sous tension de l'émetteur. Il est bien de retenir cela,

http://fribok.blogspot.com/

car cela peut effectivement être un indicateur annonçant une entrée correcte en oscillation.

Sepatoo – Comment procéder pour la vérification, alors ? Suffit-il de relier l'alimentation +15 V et une antenne en sortie RF, puis de balayer la bande 88-108 MHz avec un récepteur FM pour voir si l'on peut tomber sur la fréquence d'émission ?

Tentatoo – Tout à fait. Mais il ne faut pas oublier d'appliquer une tension sur l'entrée Freq_In (J2), de valeur comprise entre 0 V et +15 V.

Sepatoo – Et si je court-circuite cette entrée à la masse, cela convient-il ? De la sorte, point besoin de ramener une tension de commande.

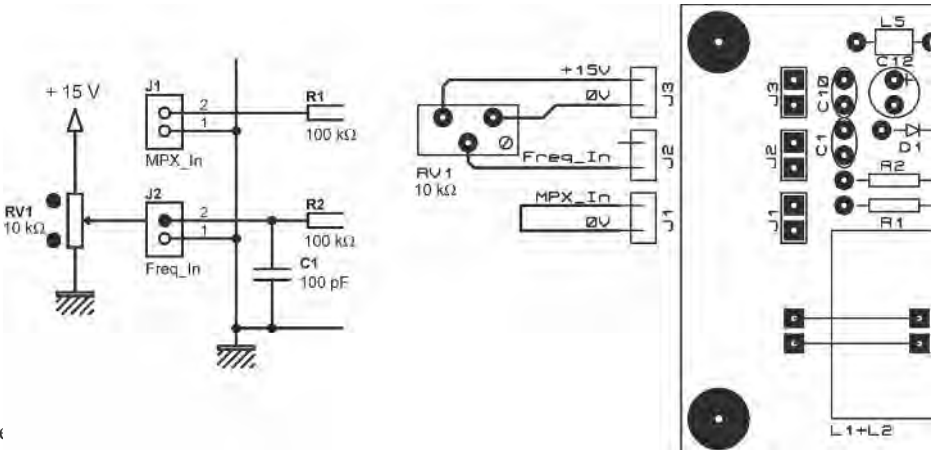
Tentatoo – Oui, cela est tout à fait possible, puisque dans ce cas, nous avons une tension de commande de 0 V, qui est une valeur autorisée. Mais je vous suggère tout de même d'appliquer tout de suite une tension de l'ordre de +7 V, de façon à régler dès maintenant l'émetteur pour le faire travailler à une fréquence médiane, par exemple 98 MHz. En ajustant ensuite la tension de commande vers le bas (0 V) ou vers le haut (+15 V), vous verrez si la plage de fréquences couverte est convenable.

Sepatoo – Ouh là, pas si vite ! Vous dites qu'il vaut mieux appliquer dès maintenant une tension de commande comprise entre 0 V et +15 V, et de préférence une tension de +7 V. Dois-je pour cela sortir une autre alimentation de laboratoire ?

Tentatoo – Point besoin d'une alimentation annexe, celle que nous avons réalisée pour l'émetteur convient très bien. Il vous suffit de câbler un potentiomètre ajustable monté en pont diviseur, tel que le montre la **figure 8.1**, pour disposer d'une tension ajustable continûment entre 0 V et +15 V.

Sepatoo – Potentiomètre directement câblé comme ça, sur les bornes des connecteurs J2 et J3 ? Ne puis-je pas déporter un potentiomètre en face avant du coffret de l'émetteur ?

Tentatoo – Je vous le déconseille, pour deux raisons : premièrement, il vous faut un potentiomètre multitours, et un modèle de tableau coûte cher. Ensuite, et cette raison suffirait à elle seule, la longueur des câbles pourrait sérieuse-



Figure

http://fribok.blogspot.com/

ment affecter la stabilité de la fréquence d'émission, qui dans l'état actuel des choses, n'a pas besoin de plus de dérive qu'elle ne peut déjà en connaître.

Sepatoo – Mais nous travaillons avec une tension continue. Pourquoi un câble plus long risquerait-il de perturber la fréquence d'émission ?

Tentatoo – Plus un câble est long, plus son aptitude à servir d'antenne est grande. Comme vous le savez, nous baignons tous dans un ensemble de champs électromagnétiques, surtout en plein centre-ville. Le 50 Hz de notre bon vieux secteur EDF aime se faufiler partout, et s'il trouve un petit chemin dans votre câble, il ne se privera pas, ce qui occasionnerait une fluctuation de la fréquence d'émission au rythme de la fréquence du secteur, d'autant plus importante que le champ capté serait important. Il vaut donc mieux garder une liaison la plus courte possible, même si elle est blindée. D'une manière générale, les liaisons les plus courtes sont presque toujours les meilleures.

Sepatoo – Bon, très bien, je vais donc souder les deux bornes extrêmes de mon potentiomètre ajustable directement sur J3, et utiliser une chute de queue de composant pour faire la liaison entre le curseur et la borne Freq_In. Le sens de branchement du potentiomètre est-il important ?

Tentatoo – Le curseur du potentiomètre doit impérativement être raccordé sur la borne Freq_In, mais en ce qui concerne les deux pattes extrêmes, aucune importance. Selon le sens de câblage, vous augmenterez ou diminuerez la fréquence d'émission en tournant l'axe du potentiomètre dans un sens donné, voilà tout.

Sepatoo – Personnellement, je préfère que la fréquence d'émission augmente quand on tourne le potentiomètre dans le sens des aiguilles d'une montre.

Tentatoo – Faites comme bon vous semble.

Sepatoo – Voilà. Maintenant que le potentiomètre est connecté, que dois-je faire ?

Tentatoo – Vous pouvez placer le condensateur ajustable VC1 à la moitié de sa course, c'est-à-dire avec les lamelles métalliques à moitié imbriquées les unes dans les autres.

Sepatoo – Vous dites ?

Tentatoo – Regardez de près les condensateurs ajustables : ils possèdent un ensemble de lamelles métalliques fixes, et un autre ensemble de lamelles métalliques amovibles, qui suivent le mouvement donné à la petite vis de l'axe central. En imbriquant plus ou moins les lamelles amovibles avec les lamelles fixes, la valeur du condensateur est plus ou moins importante. La **figure 8.2** montre trois positions possibles, où les lamelles ne sont quasi-

Figure 8.2

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

ment pas imbriquées, où elles le sont à moitié, et où elles le sont totalement. Quand elles sont totalement imbriquées, la valeur capacitive du condensateur est maximale.

Sepatoo – Je positionne donc VC1 comme sur la photo centrale pour obtenir une valeur capacitive située entre les deux extrêmes.

Tentatoo – Exactement. En procédant ainsi, la fréquence d'émission devrait se situer *grosso modo* dans la bande FM qui nous concerne.

Sepatoo – Parce qu'elle pourrait se situer en dehors ?

Tentatoo – Oui, la plage de variation de notre VCO est globalement comprise entre 70 MHz et 120 MHz, et on peut se promener entre ces deux extrêmes avec ce seul condensateur ajustable VC1.

Sepatoo – Cela signifie-t-il que notre tension de commande de 0 V à +15 V permettra de balayer entièrement cette plage de 70 à 120 MHz ?

Tentatoo – Non, la plage de variation permise par la tension continue de commande est limitée à quelque 20 MHz, ce qui rend moins difficile l'ajustement précis de la fréquence sur la valeur souhaitée. Il est possible de diminuer ou d'augmenter un peu cette plage de variation en choisissant un autre type de diode varicap (D1), voire en en plaçant une autre en parallèle sur celle existante.

Sepatoo – Donc si je comprends bien, nous pouvons globalement balayer la plage 70 MHz à 90 MHz avec notre tension de commande de 0 V à +15 V, tout comme nous pouvons balayer la plage 100 MHz à 120 MHz, simplement en modifiant la valeur du condensateur ajustable VC1.

Tentatoo – Vous avez tout compris. Et le fait de caler grossièrement notre modulateur à 98 MHz quand la tension de commande est d'environ +7 V, permet de balayer la plage 88 MHz à 108 MHz. Bien entendu, cela demande quelques ajustements progressifs, il serait surprenant d'obtenir la bonne plage de variation du premier coup. Et c'est précisément pour ce genre de réglage que l'utilisation d'un analyseur de spectre simplifie bien les choses : point besoin de modifier sans arrêt la fréquence d'un récepteur FM pour effectuer les contrôles en bout de gamme. Il suffit de configurer l'analyseur pour que la largeur de l'écran représente la bande FM concernée, c'est-à-dire 88 à 108 MHz, le centre de l'écran correspondant alors à 98 MHz.

Sepatoo – Mais rassurez-moi, on peut tout de même s'en sortir sans analyseur de spectre ?

Tentatoo – Oui, bien sûr, mais cela demande un peu plus de temps pour effectuer les réglages, voilà tout.

Sepatoo – J'ai bien compris que je peux m'en sortir avec un simple récepteur FM. Maintenant que nous avons réglé le condensateur ajustable VC1, devons-nous régler les condensateurs VC2 et VC3 ?

Tentatoo – Oui, vous pouvez déjà les positionner en valeur centrale. Puis vous pourrez mettre sous tension le modulateur, car je suis impatient de voir ce qu'il va nous donner. Et vous, n'êtes-vous pas impatient ?

Sepatoo – Si, bien sûr. Je mets donc l'alimentation secteur en route, notre récepteur FM étant à côté et calé sur 98 MHz. Je reçois déjà une émission sur cette fréquence, qui est un peu faible mais qui risque de nous gêner un peu, non ?

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Nous verrons bien. Allez-y, allumez.

Sepatoo – Oh, ça a fait pssstt, et l'émission de radio que nous recevions a totalement disparu. Le modulateur serait-il calé pile sur 98 MHz ?

Tentatoo – Cela m'étonnerait tout de même un peu. Je pense plutôt que le modulateur est trop près du récepteur, et que ce dernier est très perturbé. Essayez de modifier sa fréquence de réception pour voir si nous trouvons notre porteuse.

Sepatoo – Oh, mais je réceptionne quelque chose en plusieurs endroits de la bande FM. Notre modulateur rayonne n'importe quoi ! Des harmoniques, sans aucun doute.

Tentatoo – Non, il ne s'agit pas de cela. Le récepteur est trop proche du modulateur et reçoit trop d'énergie, ce qui provoque en interne la création de fréquences « fantôme » (entendez fréquences parasites), ce qui donne l'impression d'avoir plusieurs sources d'émission. Regardez sur l'analyseur de spectre, nous n'avons qu'une seule raie. De plus, n'oubliez pas que la première harmonique d'une porteuse 98 MHz serait située à 196 MHz, donc bien au-delà de ce qu'est capable de capter le récepteur FM.

Sepatoo – Vrai. Nous avons donc un modulateur qui fonctionne, n'est-ce pas ?

Tentatoo – Oui, il fonctionne, mais la fréquence d'émission n'est pas de 98 MHz, mais d'environ 90 MHz. Voulez-vous essayer de caler tout cela sur 98 MHz ?

Sepatoo – Mais avec plaisir. Dans un premier temps, peut-être vaut-il mieux ajuster la tension de commande à précisément +7 V ?

Tentatoo – Vous pouvez. J'en profite pour préciser que la variation de la fréquence d'émission en fonction de la tension de commande n'est pas totalement linéaire. Ce qui signifie que si la fréquence d'émission est de 98 MHz pour une tension de commande de +7,5 V, cela ne voudra pas pour autant dire que la fréquence d'émission sera de 88 MHz pour une tension de commande de 0 V, et de même, elle ne sera pas forcément de 108 MHz pour une tension de +15 V. Mais fixer une valeur centrale approximative permet de partir du bon pied.

Sepatoo – Ah, très bien. Voilà, j'ai réglé la tension de commande à +7 V, et ajusté VC1 de telle sorte que la fréquence d'émission soit approximativement de 98 MHz.

Tentatoo – Vous en êtes en effet très proche. Comment allez-vous ajuster finement cette fréquence, désormais ?

Sepatoo – En tournant très très doucement le condensateur ajustable ?

Tentatoo – Le condensateur ajustable ne fait qu'un tour, et joue sur une large plage de fréquences. Le potentiomètre ajustable est de type 10 tours et joue sur une plage de fréquences plus réduite. Pensez-vous toujours à la même chose ?

Sepatoo – Je n'étais pas sur la bonne piste, et il me semble maintenant évident qu'il est préférable d'effectuer le réglage fin avec le potentiomètre. Il est d'ailleurs dommage de ne pas pouvoir resserrer la plage de réglage offerte par le potentiomètre, car cela permettrait d'affiner encore plus le réglage.

Tentatoo – Mais on peut.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Ah oui ? Mais comment cela ? En changeant la diode varicap par un modèle moins « sensible » ?

Tentatoo – C'est une méthode, oui. Vous pouvez aussi insérer une résistance de 10K à chaque extrémité du potentiomètre RV1 de 10K, de telle sorte que la variation de la tension de commande ne soit plus comprise entre 0 V et +15 V, mais entre +5 V et +10 V, par exemple.

Sepatoo – Je ne vous suis pas.

Tentatoo – Si vous ne câblez pas les extrémités du potentiomètre directement à la masse et au +15 V, mais que vous ajoutez une résistance de même valeur que celle du potentiomètre dans la liaison de masse et encore une autre dans la liaison du +15 V, la tension de 15 V (entre masse et +15 V donc) va se répartir équitablement entre les deux résistances et le potentiomètre, avec 5 V sur chacun des trois éléments. C'est ce que montre la **figure 8.3**.

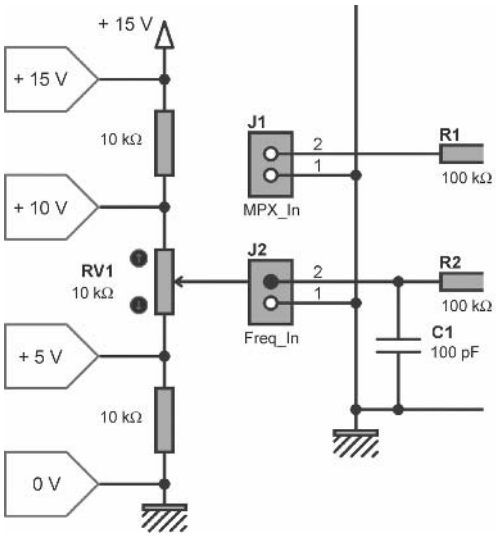


Figure 8.3

Sepatoo – J'imagine qu'il est possible de définir une plage de variation différente simplement en changeant la valeur des deux résistances ajoutées.

Tentatoo – Tout à fait, à vous de choisir leur valeur en fonction de la plage désirée.

Sepatoo – Très bien, je sais maintenant ce qu'il me restera à faire si l'usage du potentiomètre seul ne me convenait pas. Pour le moment, le fait de pouvoir balayer la totalité de la plage 88-108 MHz sans devoir retoucher le condensateur ajustable VC1 me plaît bien. Car si j'ai bien compris là aussi, le fait de resserrer la plage de la tension de commande permet un ajustage plus fin de la fréquence d'émission, mais demande en revanche de réajuster le condensateur VC1 si l'on veut passer d'un bout à l'autre de la bande FM.

Tentatoo – Très juste, et sachant cela, il vous incombe de choisir la méthode que vous préférez. Et si nous connections maintenant notre circuit d'asservissement en fréquence ?

http://fribok.blogspot.com/

Réglage du modulateur FM en mode asservi

Sepatoo – Voilà une bonne idée. Mais j'y pense soudain… le circuit d'asservissement que vous m'aviez présenté va bien fournir une tension continue de commande de la fréquence d'émission, qui va remplacer le potentiomètre de réglage manuel ?

Tentatoo – Oui, à quoi pensez-vous ?

Sepatoo – La tension fournie par ce circuit va donc évoluer de 0 V à +15 V pour permettre le balayage complet de la bande FM, sans demander de réajustage du condensateur ajustable VC1 ?

Tentatoo – Malheureusement non. Car si le potentiomètre permet sans problème de passer de 0 V à +15 V, notre circuit d'asservissement est plus limité, et la tension de commande ne dépassera pas la plage comprise entre 1 V et 11 V, cela étant dû à la régulation locale de tension à +12 V, et aux composants utilisés.

Sepatoo – Faut-il donc modifier le modulateur pour qu'il accepte de travailler sur la bande FM avec cette plage de tension de commande réduite ?

Tentatoo – Cela est possible, mais nous ne le ferons pas. Pas tout de suite tout du moins. Au lieu de cela, nous nous résignerons à régler le condensateur ajustable sur la fréquence d'émission, avec une précision de ± 3 MHz, ce qui est très grossier vous en conviendrez. Ce réglage doit être effectué après avoir défini la fréquence d'émission à l'aide des cavaliers (*straps*) ou roues codeuses du circuit d'asservissement. Puis le circuit d'asservissement fera son travail de calage et de stabilisation sur la bonne fréquence d'émission.

Sepatoo – Nous n'avons pas vu le câblage du circuit d'asservissement, cela est-il un oubli de votre part ?

Tentatoo – Non, ce n'est pas un oubli. Ce circuit fonctionne mais pourrait être perfectionné, c'est pourquoi j'hésitais un peu à vous le faire faire. Mais comme je l'ai déjà réalisé de mon côté et que vous êtes curieux, je me suis finalement dit que nous pourrions le mettre en service, juste pour voir ce qu'il permet.

Sepatoo – En quoi pourrait-il être perfectionné, s'il fonctionne bien ?

Tentatoo – Soyons précis : il fonctionne *bien*, mais il ne fonctionne pas *très bien*. Deux petits défauts à son compte : le premier est le temps qu'il peut mettre pour se verrouiller à la mise sous tension ou lors d'un changement de fréquence. Pour bien faire, il faudrait un système à deux vitesses : une boucle permettant de dégrossir rapidement la zone « globale » dans laquelle se situe la fréquence d'émission programmée, puis une seconde boucle qui entre ensuite en service pour l'ajustage fin. Ce type de procédé est utilisé sur les équipements professionnels pour assurer un redémarrage rapide à la suite d'une coupure secteur. Mais notre circuit est simple et ne comporte pas ce type de mécanisme. Second défaut : le pas de réglage de la fréquence d'émission, c'est-à-dire l'espace entre chaque fréquence d'émission que l'on peut sélectionner, est important et ne correspond pas à un multiple de 10. Ce pas est déterminé par la fréquence de référence, et par le taux de division du prédiviseur, ici de 256. Avec notre circuit d'asservissement complet (non simplifié), la fréquence de référence est de 10 Hz, ce qui conduit à un pas de

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

256 × 10 = 2,56 kHz. Avec le circuit d'asservissement simplifié, la fréquence de référence est 10 fois plus élevée, puisque de 100 Hz, et le pas est donc multiplié lui aussi par 10, ce qui le porte à 25,6 kHz. Dans les deux cas, il n'est pas possible de régler la fréquence d'émission à une valeur exacte pour toutes celles que nous aimerions avoir. Ainsi, pour 88 MHz, nous avons de la chance car 88 MHz divisé par 256 puis par 10 donne un résultat entier de 34 375, qui correspond au facteur de division du circuit d'asservissement. Il est donc possible d'émettre à 88 000 000 Hz. Mais pour une fréquence d'émission de 88,1 MHz, la division par 2 560 (par 256 puis par 10) ne donne pas un résultat entier, ce dernier étant de 34 414,063. Ce qui impose de choisir un facteur de division de 34 414 (valeur entière juste en dessous) ou de 34 415 (valeur entière juste au-dessus). Ce qui nous donne respectivement les fréquences d'émission de 88 099 840 Hz et de 88 102 400 Hz. Bien entendu, si on s'en tient à une précision de 1 kHz, cela nous permet d'écrire que les fréquences d'émission sont de 88,099 MHz et de 88,102 MHz, et on pourrait se contenter de la valeur qui se rapproche le plus de celle désirée. Tout récepteur FM que l'on réglerait à 88,1 MHz arriverait à fonctionner parfaitement avec ces deux fréquences, mais le domaine professionnel ne peut se permettre une telle faiblesse de précision. C'est pourquoi, encore une fois, j'insiste sur le fait que ce circuit d'asservissement est bien pour se faire une idée du fonctionnement général du système, mais qu'on ne peut décemment pas l'employer pour une application sérieuse. Je pense qu'à la suite de ce petit exposé, vous en déduirez tout naturellement les améliorations possibles.

Sepatoo – Je les imagine bien, mais ne pourrai point vous aider dans cette démarche du 100 % qualité.

Tentatoo – Rassurez-vous, je ne vais pas vous commander maintenant une étude de conception d'un circuit plus performant. Malgré tous les aspects négatifs que j'ai pu énumérer, ce circuit fonctionne tout de même assez bien, et c'est pourquoi il n'est pas inintéressant de s'y pencher. Je dois tout de même préciser que le circuit dans sa version d'origine non simplifiée, est moins performant en ce qui concerne le verrouillage, que le circuit simplifié. Cela est lié au choix du filtre de boucle, qui est plus difficile à élaborer avec une fréquence de référence basse, comme l'est le 10 Hz.

Sepatoo – Mais faut-il impérativement utiliser une fréquence de référence de valeur faible pour avoir une bonne précision de la fréquence d'émission ?

Tentatoo – Non, le problème est qu'ici le prédiviseur installé sur la platine modulateur FM, divise la fréquence d'émission par 256. Si nous utilisions un prédiviseur par 100 et une fréquence de référence de 1 kHz, nous pourrions avoir un pas de réglage de 100 kHz (100 fois 1 kHz), ce qui serait parfait, puisque l'on pourrait alors spécifier n'importe quelle fréquence d'émission à exactement 100 kHz près. Soit 88,100 MHz, 94,800 MHz ou encore 103,700 MHz.

Sepatoo – Mais il suffit de trouver un diviseur par 100, alors !

Tentatoo – Oui, il suffit. Mais si je vous proposais dès le début un circuit parfait, avouez que ce serait moins drôle. Nous allons donc pour le moment nous contenter de ce circuit d'asservissement simplifié, qui me donne actuellement satisfaction. Le circuit imprimé que j'ai dessiné est prévu pour la

http://fribok.blogspot.com/

référence à 10 Hz, et il suffit de retirer deux circuits intégrés et de mettre en place trois *straps* pour passer en version simplifiée avec fréquence de référence 100 Hz. C'est pourquoi je vous propose les deux plans de câblage qui correspondent chacun à une version : celui en **figure 8.4** pour la version non simplifiée, celui en **figure 8.5** pour la version simplifiée. Sur cette dernière, vous constaterez que les circuits intégrés U6 et U9 ne sont pas implantés, et que trois *straps* ont été ajoutés pour tenir compte de leur absence et permettre au reste du circuit de travailler sans eux : un *strap* entre emplacement bornes 1 et 6 de U6, un *strap* entre emplacement bornes 12 et 13 de U6, et un *strap* entre emplacement bornes 12 et 14 de U9 (les *straps* sont représentés par des traits plus fins).

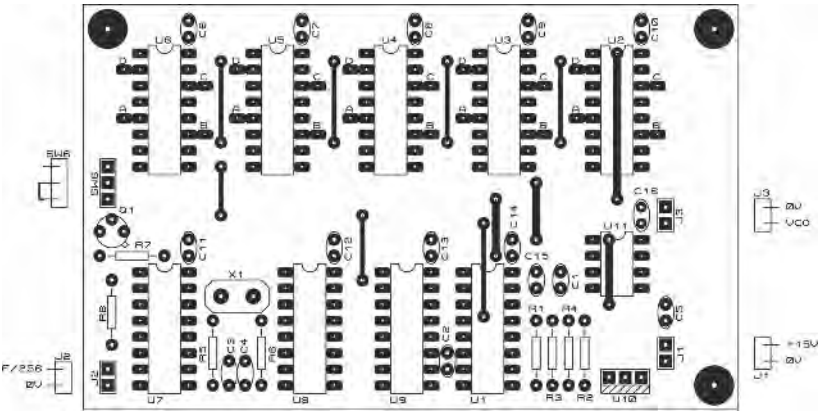


Figure 8.4

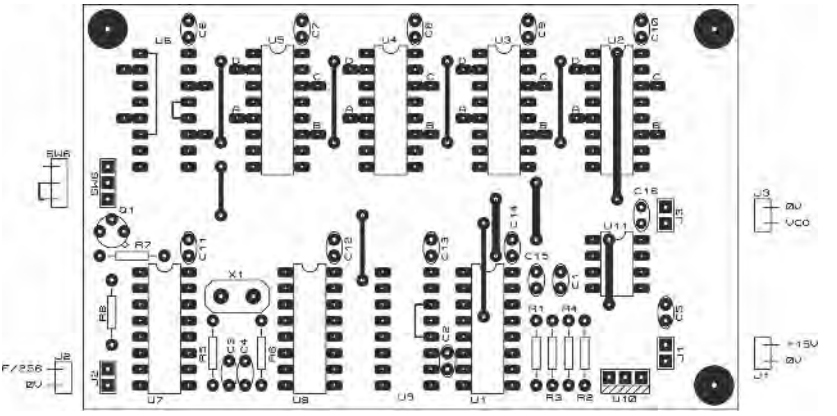


Figure 8.5

Sepatoo – Dommage que ce circuit d'asservissement ne soit pas parfait, je vous aurais bien demandé de me le prêter quelque temps.

Tentatoo – J'en avais de toute façon l'intention. Car je considère qu'il est toujours intéressant d'aller plus loin. Vous serez bien content le jour où vous aurez un circuit plus pro. Les notions de performance et de qualité évoluent avec ce que l'on apprend. Quand j'ai commencé dans le domaine audio,

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

j'étais fort content de mon premier multipistes à K7 analogique. Je ne me suis rendu compte qu'il « soufflait » beaucoup qu'après acquisition d'un système numérique bien plus performant. Du coup, ce que j'avais auparavant présentait moins d'intérêt. Mais avant cela, j'en ai bien profité.

Sepatoo – Je vois des zones notées A, B, C et D sur vos circuits. Pouvez-vous me dire à quoi elles correspondent ?

Tentatoo – Il s'agit des points auxquels il faut connecter les roues codeuses ou les cavaliers qui permettent de configurer le facteur de division, de la façon indiquée en **figure 8.6**. Si vous optez pour des cavaliers, comme je l'ai fait, vous devez suivre le plan de câblage de gauche. Si les roues codeuses ont votre préférence, suivez le plan de câblage de droite.

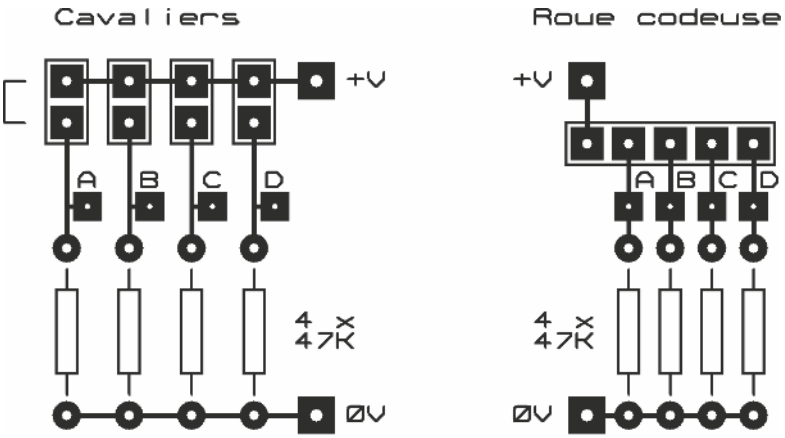


Figure 8.6

Sepatoo – Cavaliers et roues codeuses permettent la même chose ?

Tentatoo – Absolument. Les roues codeuses sont plus chères que de simples cavaliers, mais elles permettent d'afficher en clair le facteur de division.

Sepatoo – Elles ne permettent pas d'afficher directement la fréquence d'émission ?

Tentatoo – Non, pas ici. Vous devez diviser la fréquence d'émission par 256, et le nombre que vous obtenez doit être celui à utiliser. Dites-moi donc quelle valeur faire afficher à mes roues codeuses, si je veux diffuser sur la fréquence de 95,3 MHz ?

Sepatoo – Facile ! 95,3 MHz divisé par 256, ce qui donne 371 875. Ah, mais cela donne un nombre à six chiffres, et il n'y a que cinq roues codeuses sur votre système, et même seulement quatre sur la version simplifiée. Ça ne peut donc pas fonctionner !

Tentatoo – Nous en sommes à la limitation dont je vous parlais. Nous devons tronquer le nombre obtenu, en d'autres termes ne pas tenir compte du ou des chiffres les moins significatifs. Au lieu de saisir 371 875, et comme le montre la **figure 8.7**, nous saisirons donc 37 187 (en haut) pour la version « complète », ou 3 718 (en bas) pour la version simplifiée.

Sepatoo – Et la fréquence d'émission ne sera donc pas exactement celle souhaitée, j'ai bien compris. Et avec les cavaliers, comment procéder ?

http://fribok.blogspot.com/

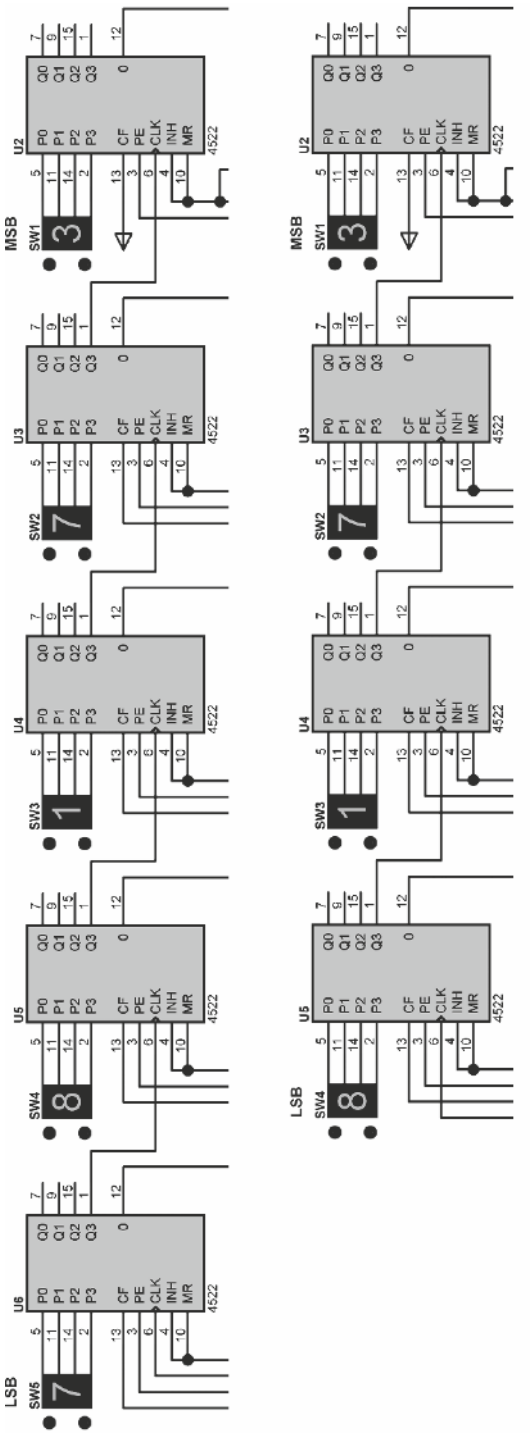


Figure 8.7

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Tentatoo – Il suffit de savoir compter en binaire, en faisant correspondre la lettre A au bit de poids faible, et la lettre D au bit de poids fort.

Sepatoo – Encore ce charabia d'informaticien.

Tentatoo – Si je vous dis « *Hello, how are you* ? » et que vous n'avez jamais entendu parler un seul mot d'anglais, vous ne saurez pas ce que cela signifie, et c'est normal. Tout s'apprend. Pareil pour la base de comptage en binaire. Il suffit de retenir que le premier bit, celui de poids faible, correspond au nombre 1, que le second bit qui vient juste après correspond au nombre 2, que le troisième correspond au nombre 4, et qu'enfin le quatrième correspond au nombre 8. À chaque fois que vous passez d'un bit de poids donné au bit de poids directement au-dessus, il suffit de multiplier sa « valeur » par 2. Ensuite, tout n'est qu'addition, rien de plus.

Sepatoo – Un exemple, peut-être ?

Tentatoo – Reprenons l'exemple précédent, où nous désirons diffuser sur la fréquence de 95,3 MHz, et où le facteur de division de notre diviseur programmable est de 371 875. Le premier chiffre est 3. Donnez-moi les nombres que je dois additionner pour obtenir 3 ?

Sepatoo – Eh bien, 2 et 1, par exemple.

Tentatoo – Très bien. Le second chiffre est 7, donnez-moi les nombres que je dois additionner entre eux pour obtenir 7 ?

Sepatoo – 4 et 3 ?

Tentatoo – Le nombre 3 n'existe pas en tant que « bit » dans le système de comptage binaire. Rappelez-vous, vous n'avez le choix qu'entre les nombres 1, 2, 4 et 8.

Sepatoo – Alors, 4, 2 et 1.

Tentatoo – Parfait. Et pour les nombres suivants ?

Sepatoo – Pour le 1 et le 8, pas de difficulté majeure me semble-t-il. Et pour le 7, nous l'avons déjà vu. Que faire de ces informations ?

Tentatoo – Faites simplement la correspondance entre les lettres A à D et les nombres autorisés 1, 2, 4 et 8. A = 1, B = 2, C = 4 et D = 8. Si vous avez besoin du 1 dans l'addition, mettez un *strap* sur A. Si vous avez besoin du 2 dans l'addition, mettez un *strap* sur B. Si vous avez besoin du 4 dans l'addition, mettez un *strap* sur C. Et si vous avez besoin du 8 dans l'addition, mettez un *strap* sur D.

Sepatoo – Cela me semble trop simple pour être suffisant.

Tentatoo – Pourtant, il n'y a rien de plus à faire. Faites-moi donc un petit dessin qui représente l'ensemble des cavaliers, et où l'on voit clairement ceux qui doivent être positionnés.

Sepatoo – Pour la configuration que nous venons de choisir ?

Tentatoo – Oui.

Sepatoo – Voici ma proposition en **figure 8.8**. J'ai rempli en noir les endroits où j'ai mis un cavalier pour faire contact avec la liaison +V. Ceux qui ne sont pas remplis en noir représentent les entrées (lettres A à D) qui sont portées au potentiel 0 V grâce aux résistances de rappel de 47K. Y a-t-il des erreurs ?

Tentatoo – Non, votre proposition tient la route, c'est très bien. Vous voilà fin prêt pour configurer la fréquence d'émission de votre choix.

http://fribok.blogspot.com/

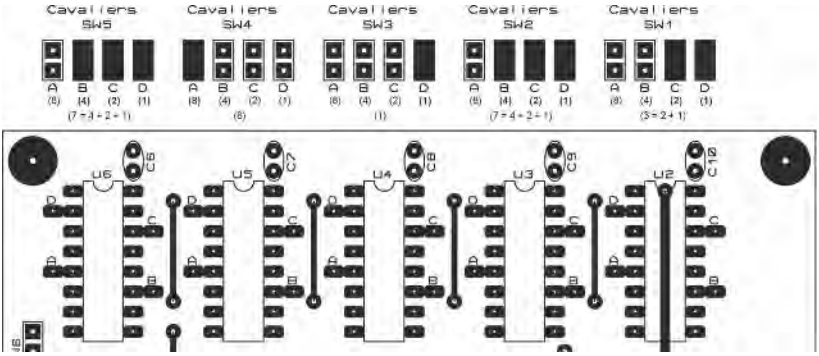


Figure 8.8

Sepatoo – J'en suis bien heureux. J'avais déjà entendu parler de configuration binaire par cavaliers, et pensais que cela était un vrai casse-tête. Finalement, si l'on prend les chiffres un par un, c'est très simple.

Tentatoo – Cette méthode présente de surcroît l'avantage de vous familiariser avec le comptage binaire, ce qui vous servira très certainement dans bien d'autres applications.

Sepatoo – Bien, nous en avons fini avec notre émetteur, il me semble.

Tentatoo – Pas tout à fait, il nous reste encore à discuter un peu de l'adaptation de la sortie RF à l'antenne d'émission.

8.2 Adaptation de l'antenne d'émission

Tentatoo – Cette opération est indispensable si vous possédez un amplificateur de forte puissance. Dans le cas qui nous concerne, et avec notre petit milliwatt de sortie RF, une antenne non adaptée ne risquera pas de détériorer notre équipement. De plus, la puissance dont nous disposons est insuffisante pour faire dévier l'aiguille du galvanomètre. Mais cela n'empêche pas de voir comment utiliser notre TOS-mètre.

Sepatoo – Que l'on branchera dans le bon sens, cela va de soi.

Tentatoo – Bien entendu. Durant le branchement, tous les appareils (surtout l'émetteur) doivent être éteints. La procédure d'étalonnage du TOS-mètre est très simple. Vous devez placer son inverseur mécanique en position *Directe*, puis tourner son potentiomètre complètement à gauche, pour une sensibilité minimale. Vous mettez l'émetteur sous tension, puis tournez lentement le potentiomètre du TOS-mètre jusqu'à ce que l'aiguille aille tout à droite, en bout d'échelle. Si le galvanomètre est gradué de 1 à 10, faites en sorte que l'aiguille se positionne sur la graduation 10.

Sepatoo – Mais pourquoi sur 10 et non sur 1 ? La puissance de sortie de l'émetteur n'est pas de 10 W.

Tentatoo – Les graduations du galvanomètre n'ont aucun rapport avec la puissance émise, elles permettent de se faire une idée du rapport entre l'énergie qui va vraiment à l'antenne et l'énergie qui en revient. Elles servent à établir le pourcentage d'une valeur par rapport à l'autre. Pas question ici de mesurer une valeur absolue de puissance, nous ne travaillons qu'en relatif.

© DUNOD – La photocopie non autorisée est un délit.

http://fribok.blogspot.com/

Sepatoo – Vous auriez pu me le signaler avant.

Tentatoo – Il me semblait que vous l'aviez compris, mais l'important est que vous l'ayez maintenant assimilé. Une fois que l'aiguille dévie à pleine échelle et que le TOS-mètre est étalonné, pouvez-vous me dire quelle suite donner aux opérations ?

Sepatoo – Repasser l'inverseur en position *Réfléchie* pour connaître la proportion de signal qui revient à l'émetteur ?

Tentatoo – Exactement ! Il n'y a rien d'autre à faire. Que concluriez-vous si en position *Réfléchie*, l'aiguille se positionnait sur la graduation 2 ou 3 ?

Sepatoo – Que 20 à 30 % de l'énergie émise par l'émetteur ne sont pas rayonnés par l'antenne ?

Tentatoo – Selon vous, cette valeur serait-elle plausible ?

Sepatoo – Bah pourquoi pas. J'imagine que si l'on ne branche pas d'antenne, toute la puissance RF revient vers l'émetteur, et dans ce cas on voit l'aiguille aller à fond. Mais j'y songe, que faire pour diminuer la quantité de puissance réfléchie, quand celle-ci est trop importante ?

Tentatoo – Vous pouvez ajuster la longueur de l'antenne, par exemple.

Sepatoo – Ah ça non ! Je ne vais pas m'amuser à grimper sur le toit tout le temps !

Tentatoo – Dans ce cas, peut-être devriez-vous vivre avec cette valeur.

Sepatoo – Mais rassurez-moi, ce n'est pas dangereux pour l'émetteur ?

Tentatoo – Une valeur de 20 à 30 % est une valeur inacceptable pour un usage professionnel, et elle commence à devenir dangereuse pour les composants électroniques. Pour une puissance de sortie aussi faible que celle de notre émetteur, le risque est vraiment minime. Mais quand viendra l'heure des « quelques watts », vous ne pourrez plus vous contenter de ce taux de retour, et il faudra corriger ce qui ne va pas si cela s'avère nécessaire.

Sepatoo – J'en ai bien pris note. De toute façon, il ne serait pas surprenant que je vous demande un peu d'aide si ce moment se précise. Pour l'instant, il me reste à vous adresser tous mes remerciements pour tout ce que nous venons de voir ensemble, ce fut une expérience très enrichissante pour moi.

Tentatoo – Moi-même suis très heureux d'avoir constaté votre grande assiduité. Je vous propose maintenant de faire le tour du quartier dans ma voiture, afin d'écouter sur mon autoradio, le rendu sonore de votre nouvel équipement. Mais il nous faut nous dépêcher, avant que les autorités de régulation et de contrôle ne décident de saisir votre matériel, qui avait vocation à l'origine de ne servir que dans votre chambre à coucher… Ensuite, je vous inviterai à boire une coupe de champagne pour terminer et fêter comme il se doit, cette session de travail qui mérite bien un peu de repos.

Sepatoo – Je ne vous le fais pas dire !

Tentatoo – Alors allons-y !

http://fribok.blogspot.com/

BIBLIOGRAPHIE

Les quelques livres cités ici en référence, ne sont pas tous liés à la diffusion en FM, mais ont tous un rapport avec l'électronique. La plupart sont plus particulièrement destinés aux débutants, mais contiennent bien souvent des petits rappels ou astuces qui ne peuvent pas faire de mal aux plus aguerris d'entre vous. Merci à tous ces auteurs qui consacrent du temps au partage de leur savoir.

Bases

Les bases de l'électronique, I. Berkes

Mes premiers pas en électronique, R. Rateau

Pour s'initier à l'électronique, B. Fighiera et R. Knoerr

L'électronique à la portée de tous, G. Isabel

L'électronique ? Rien de plus simple !, J.-P. Oehmichen

Le transistor ? Mais c'est très simple !, E. Aisberg

L'électronique par l'expérience, P. Mayé

Apprendre l'électronique fer à souder en main, J.-P. Oehmichen

Guide de choix des composants, J.-F. Machut

Formation pratique à l'électronique, 2e édition, M. Archambault et P Mayeux

Pour s'initier à l'électronique logique et numérique, Y. Mergy

Un coup ça marche, un coup ça ne marche pas, R.A. Pease

Connaître les composants électroniques, P. Mayé

Progressez en électronique, J.-P. Oehmichen

Composants électroniques – Technologie et utilisation, R. Bresson

Émission/réception

Apprenez la radio, B. Fighiera

Circuit Design for electronic instrumentation, D. Wobschall, MacGraw-Hill

http://fribok.blogspot.com/

Emetteurs et récepteurs HF – Applications audio et vidéo, H. Cadinot

Interphones et talkies-walkies, R. Besson

La pratique des antennes, Ch. Guilbert

Techniques de l'émission – Réception sur ondes courtes, Ch. Guilbert

Parasites et perturbations

Parasites et perturbations des électroniques, tomes 1 à 4, A. Charoy

Circuits imprimés

Tracés des circuits imprimés, P. Dunand

Circuits imprimés en pratique, J. Alary

Circuits imprimés, P. Gueulle

Alimentations

300 schémas d'alimentation, H. Schreiber

Alimentations électroniques, P. Mayé

Audio/vidéo

400 schémas audio, HiFi, Sono, BF, H. Schreiber

Généralistes

La série des *300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307 montages*, qui constituent un recueil de schémas sacrément pratiques pour piocher dedans à n'importe quel moment où l'on bloque sur un truc.

http://fribok.blogspot.com/

ANNEXES

Réglementations en vigueur

L'utilisation de « hautes » fréquences pour la diffusion d'informations quelconques, programmes audio ou données informatiques par exemple, est soumise à des réglementations que vous devez respecter, sous peine de poursuites. Actuellement, et depuis 2006, la diffusion libre dans la bande FM est possible à la condition expresse que la puissance RF en sortie d'émetteur ne dépasse pas 50 nW (nanowatts). Les réglementations peuvent avoir changé entre le moment où ce livre a été écrit, et le moment où vous le lisez. Vous devez donc impérativement vous renseigner pour connaître les dernières réglementations en vigueur. Les liens suivants vous aideront à trouver ce que vous avez le droit de faire, et vous donnent également accès à un ensemble de formulaires décrivant les étapes à suivre pour déposer un dossier de candidature, dans le cadre d'une application de diffusion sérieuse et durable :

http://www.anfr.fr/index.php?cat=tnrbf&page=faq#fm
http://www.csa.fr/upload/publication/radfm.pdf
http://fr.wikipedia.org/wiki/Radio_libre

L'après-vie de ce livre

Ce livre comporte un ensemble de textes et de schémas qui n'ont peut-être pas fini de vivre et de s'améliorer. Sur son site web Sonelec-Musique.com, l'auteur propose un ensemble de pages dédiées aux discussions sur les diverses réalisations électroniques décrites dans ce livre, des pages décrivant des accessoires utiles (vumètres, générateurs BF), ainsi que des pages plus généralistes (théorie sur les modulations, par exemple).
Des pages web ont également été initialisées pour permettre d'échanger les expériences du lecteur avec celles de l'auteur, de parler des dysfonctionnements, de proposer des améliorations, d'ajouter des fonctionnalités. N'hésitez surtout pas à vous y rendre !

Page d'accueil officielle du site Sonelec-Musique :

http://www.sonelec-musique.com

ou (site miroir) :

http://perso.wanadoo.fr/sonelec-musique/index.htm

Page relative à l'émetteur FM décrit dans ce livre :

http://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_emetteur_fm_002.html

http://fribok.blogspot.com/

Construisez votre émetteur FM

Conception et réalisation

Alimentez votre conversation stéréophonique !

« ***Tentatoo*** *– Mon cher Sepatoo, comme bien souvent, les choses paraissent complexes quand on les aborde en toute ignorance, puis deviennent limpides quand on prend le temps de les comprendre. Vous verrez que tout ce dont nous parlerons n'est en réalité que fort peu compliqué !*
Sepatoo *– Eh bien, si nous commencions, alors ! »*

Au fil d'un dialogue passionné entre le professeur Tentatoo et son élève Sepatoo, partez à la conquête de l'émission stéréophonique :

- familiarisez-vous avec les principes de base de la radiodiffusion (modulation, démodulation et amplification),
- suivez pas à pas chaque étape de la réalisation d'un véritable émetteur radio et apprenez à construire le vôtre.

Riche de conseils pratiques, très illustré, cet ouvrage original se lit comme un roman-feuilleton. Tentatoo ou Sepatoo, devenez l'un des héros de cette aventure radio-électro-stéréophonique !

Rémy MALLARD *est technicien et formateur au sein d'un organisme chargé des services de télédiffusion, ingénierie et maintenance, pour l'audiovisuel et les télécommunications. Il est l'auteur de plusieurs articles parus dans la revue* Électronique Pratique.

ISBN 978-2-10-053560-6 www.dunod.com

http://fribok.blogspot.com/